



UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA em **Engenharia em Energias Renováveis**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2017/2018 – 4º ANO

Autor: Carlos Neves, N.º 3166

Orientador: Msc Susana Castro

Mindelo, 2018



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR
LICENCIATURA EM ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

**BIODIGESTOR CASEIRO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DA
VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DE DEJETOS DE EQUINOS**

ANO LETIVO 2017/2018 – 4º ANO

AUTOR: CARLOS NEVES

ORIENTADOR: MSC SUSANA CASTRO

MINDELO, DEZEMBRO DE 2018

CARLOS NEVES

**TÍTULO: Biodigestor Caseiro para Produção de Biogás Através da Valorização
Energética de Dejetos de Equinos**

Trabalho apresentado à
Universidade do Mindelo como
parte dos requisitos para
obtenção do grau de licenciatura
em Engenharia em Energias
Renováveis

MINDELO, DEZEMBRO DE 2018

RESUMO

O biogás tem demonstrado ter grande potencial energético, por ser um combustível renovável e ecológico. O estudo visou escolher e dimensionar um tipo de biodigestor caseiro adequado onde se processa a digestão anaeróbica para o tratamento de dejetos de equinos. Este projeto pretende demonstrar que é possível converter dejetos equinos em energia como o biogás e biofertilizante com a ajuda de um sistema de biodigestor de baixo custo. Além disso o biogás produzido tem propósito de gerar energia térmica através da combustão do gás metano sendo aplicado essencialmente no cozimento dos alimentos ou na iluminação das residências, criando um ambiente sustentável e reduzindo nos custos do gás butano ou combustíveis fósseis. Entre os benefícios dos biodigestores estão o tratamento dos resíduos, redução de emissões de gases de efeito estufa e melhorias de saúde humano e ambiental.

O trabalho foi realizado com o apoio do Club Hípico do Mindelo que forneceu a maioria dos dados para a modelação do biodigestor.

Palavra-chave: Equinos, Dejetos, Biogás, Digestão Anaeróbica, Biodigestor.

ABSTRACT

Biogas has been shown to have great energy potential, as it is a renewable and ecological fuel. The aim of this study was to select and size a suitable type of homemade biodigester where anaerobic digestion is processed for the treatment of equine waste. This project aims to demonstrate that it is possible to convert equine waste into energy as biogas and biofertilizer with the help of a low cost biodigester system. In addition, the biogas produced has the purpose of generating thermal energy through the combustion of methane gas and is mainly applied to food cooking or home lighting, creating a sustainable environment and reducing the costs of butane gas or fossil fuels. Among the benefits of biodigestors are waste treatment, reduction of greenhouse gas emissions and improvements in human and environmental health.

The work was carried out with the support of the Club Hípico do Mindelo that provided most of the data for the modeling of the biodigester.

Key words: Equine, Waste, Biogas, Anaerobic Digestion, Biodigester.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que direto ou indiretamente me apoiaram e motivaram durante todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pela oportunidade de estar neste mundo e poder curtir a vida.

A minha família e amigos, pela força e apoio em todos os momentos de minha vida e por sempre estarem de braços abertos em momentos de dificuldades.

A Orientadora Susana Castro muito obrigado pela orientação e paciência.

FRASE DE INSPIRAÇÃO

“Do ponto de vista do planeta, não existe deitar lixo fora, porque não existe fora” – Autor Desconhecido.

Índice

Resumo	v
Abstract.....	vi
Dedicatória.....	vii
Agradecimentos	viii
Frase de inspiração	ix
Capítulo I	1
1. Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivo geral.....	3
1.4 Metodologia	3
1.5 Estrutura	4
Capítulo II	5
2. Abordagens bibliográficas	5
2.1 História da biomassa	5
2.1.1 Biomassa.....	6
2.1.2 Combustível.....	8
2.1.3 Protocolo de Quioto.....	9
2.1.4 Biomassa VS Potencial energético VS Sustentabilidade	10
2.2 Tecnologias de conversão da biomassa	11
2.3 Biogás	12
2.3.1 Propriedades dos gases que compõem o biogás e seu efeito fisiológico.....	13
2.3.2 Poder calorífico do biogás	15
2.3.3 Digestão anaeróbica.....	17
2.3.4 Etapas da digestão anaeróbica	19
2.3.5 Aplicação do Biogás	20
2.4 Biofertilizante	22
2.4.1 Características do Biofertilizante.....	23
2.5 Biodigestores.....	24
2.5.1 Tipos de biodigestores	25
2.5.2 Princípio de Funcionamento	30
2.5.3 Operacionalidade do biodigestor	30
2.5.3.1 Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)	30
2.5.3.2 Produção	30
2.5.3.3 Factores que influenciam a produção de biogás utilizando o biodigestor	31
2.5.4 Avaliação do impacto dos biodigestores	33
2.5.5 Cuidados	34
2.5.6 Risco de explosão	34
2.5.7 Custos de Construção dos Biodigestores.....	35
Capítulo III	37
3. Caso de estudo no México.....	37
Capítulo IV	40
4. Modelação do biodigestor	40

4.1	Caso de estudo	40
4.2	Localização do Biodigestor.....	40
4.3	Matéria-prima Escolhido	42
4.4	Tipo de Biodigestor Escolhido.....	45
4.4.1	Materiais necessários a construção do biodigestor	46
4.4.2	Os materiais necessários para realizar a condução de biogás são:	47
Capítulo V.....		48
5.	Dimensionamento do Biodigestor	48
5.1	Volume de Carga	49
5.2	Volume do Biodigestor	51
5.3	Desenho técnico e dimensões dos constituintes do Biodigestor	51
Capítulo VI		55
6.	Discussão dos resultados	55
6.1	Cálculo da previsão de produção de biogás	55
Conclusão		58
Referencias bibliográficas		60
ANEXO		66

Lista de Figura

Figura 1- Biomassa e matéria-prima	8
Figura 2- Equação química da digestão anaeróbica.	17
Figura 3- Etapas da digestão anaeróbica	18
Figura 4 - Aplicação do Biofertilizante no cultivo	23
Figura 5- Biodigestor Chinês.....	26
Figura 6 - Biodigestor Indiano.....	27
Figura 7- Biodigestor Canadense	28
Figura 8 - Comparação entre os tipos de biodigestores (adaptado).....	29
Figura 9 - Localização do biodigestor	41
Figura 10 - Local de depósito dos dejetos	43
Figura 11 - Égua Tripolia	44
Figura 12 - Biodigestor Canadense de grande escala implementado no Brasil.....	45
Figura 13 - Esquema das dimensões da escavação do buraco.....	49
Figura 14 - Desenho técnico da caixa de entrada e suas dimensões.....	52
Figura 15 - Desenho técnico da Caixa de saída e suas dimensões.	53
Figura 16 - Desenho técnico do tanque principal de biogás.....	54

Lista Tabela

Tabela 1- Constituintes do biogás	13
Tabela 2- Propriedades dos gases e seus efeitos fisiológicos	14
Tabela 3– Propriedades físicas e químicas do metano	15
Tabela 4– Alguns Combustíveis	16
Tabela 5 - Relação comparativa entre biogá e os combustíveis usuais	21
Tabela 6– Consumo de biogás em algumas aplicações	21
Tabela 7 - Custos dos diferentes tipos de biodigestores em relação a capacidade	35
Tabela 8 - Modelo tubular plástico modelado pelo IRRI	38
Tabela 9 - Quantidade média de produção de dejetos e equivalente de biogás/m ³	42
Tabela 10 - Volume dos biodigestores e suas dimensões	48
Tabela 11- Quantidade de dejetos produzidos no Club Hípico do Mindelo.	50
Tabela 12 - Cálculos da produção de biogás	55
Tabela 13 - Análise SWOT do projeto	56

Lista de siglas e abreviaturas

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

CH₄ - metano

CO₂ – dióxido de carbono

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas do Brasil

GPL – Gás liquefeito de petróleo

H₂ - hidrogênio

H₂S – sulfeto de hidrogênio

IEA – International Energy Agency

IRRI - International Renewable Resources Institute

Kg - quilogramas

M³ - metros cúbicos

MDL – Mecanismo de desenvolvimento limpo

MME - Ministério de Minas e Energia do Brasil

NH₃ - amoníaco

ONU – Organização das Nações Unidas

PCI - poder calorifico inferior

PCS - poder calorifico superior

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

TRH - Tempo de retenção hidráulica

VB - Volume do biodigestor

VC - Volume de carga

CAPÍTULO I

1. Introdução

1.1 Contextualização

Considerando os problemas de grande repercussão mundial, como Aquecimento Global, o Efeito de Estufa, buraco na Camada de Ozono, poluição de recursos hídricos começam a despertar a preocupação de diversos setores da sociedade.

A queima de combustíveis fósseis e biomassa, atividades industriais levam a emissão de gases na atmosfera. Essas atividades são vistas como o principal fator das degradações e catástrofes ambientais.

A aspiração ao desenvolvimento mundial só poderá ser realizada adotando medidas urgentes de grande relevância ao ecossistema, e se houver um aumento notável na eficiência do uso de fontes de energias renováveis deixando os combustíveis fósseis e nocivos ao meio ambiente como último caso.

Através de estudos e desenvolvimentos tecnológicos é possível analisar novas alternativas de aproveitar as fontes renováveis, como é o caso do biogás, de forma mais eficiente visando a preservação e manutenção dos recursos naturais e a minimização dos desgastes sociais, econômicos e culturais que a devastação da natureza ocasiona.

Segundo o Boletim informativo do Ministério do Desenvolvimento Rural da 2ª Edição, no ano 1983, em Cabo Verde na propriedade Estatal de Justino Lopes iniciou-se a construção do Biogás para aproveitar a biomassa dos dejetos dos porcos para produzir gás, que era utilizado por dois geradores para produzir energia, e os dejetos líquidos resultantes da fermentação eram usados para irrigação das fruteiras e do bananal. Realça-se que o aproveitamento otimizado desses recursos estava em consonância com as normas ambientais. Em seguida deu-se a eletrificação por inteiro da propriedade permitindo assim um grande marco na evolução da pecuária, tudo isso devido ao aproveitamento dos dejetos dos porcos. Porém, devido a falhas verificadas na higiene,

segurança e alimentação dos porcos facilitou a criação e propagação da Peste Suína Africana que terá dizimado a pecuária suína na época e posteriormente o declínio da empresa de Justino Lopes.

Segundo um site de energias renováveis de Cabo Verde, este tem um plano de alcançar 100% de penetração de energias renováveis, alcançando assim crescimento e estabilização do sector elétrico, bem como diminuição do consumo dos combustíveis fósseis e consequentemente menores incertezas à economia do país. Graças ao aproveitamento da energia solar e eólica principalmente.

Contudo com o tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais etc.) em ambiente anaeróbico são vistos como outro fator capaz de ajudar Cabo Verde a alcançar esse objetivo, produzindo um biocombustível amigo do ambiente de forma a suprimir a utilização dos combustíveis fósseis.

Apesar de Cabo Verde ser um arquipélago com grandes dificuldades económicas e sociais, acredito que com a aplicação de melhores políticas energéticas, no futuro Cabo Verde consiga atingir sua independência energética, bem como um equilíbrio económico favorável ao crescimento sustentável do país.

1.2 Motivação

Aliar duas das minhas paixões tem sido um excelente desafio. A percepção que existem tantas possibilidades energéticas ao nosso dispor foi desenvolvida ao longo do curso e realizar que um dos desportos mais significativos para mim poderá também ser um aliado na renovação da matriz energética de Cabo Verde foi um verdadeiro despertar.

Outro fator, e mais importante é o facto de ajudar a conservar o nosso meio ambiente contribuindo para a disseminação de moscas e várias doenças que se propagam no nosso meio.

1.3 Objetivo geral

Este projeto tem como objetivo demonstrar a conversão energética de dejetos de equinos produzidos no Clube Hípico do Mindelo, em biogás e biofertilizante. Pretende-se que este trabalho sirva como base teórica e prática para a elaboração de futuros projetos de valorização energética de materiais orgânicos que estão muitas vezes envolvidos na degradação ambiental e em questões de saúde pública.

1.4 Objetivos específicos:

- Determinar a quantidade de dejetos produzidos;
- Determinar o tipo de biodigestor;
- Dimensionar biodigestor em função de dois parâmetros: o tempo de detenção hidráulica (TDH) e a Carga orgânica volumétrica (Cv);
- Estimar quantidade de biogás;
- Demonstrar o valor energético do biogás e fertilizante.

1.5 Metodologia

No presente trabalho adotou-se o método de pesquisa bibliográfica, onde através da análise documental de livros e artigos científicos se pretende recolher informação necessária adicionando aos conhecimentos adquiridos ao longo da licenciatura por fim descrever todo o processo de produção de biogás e biofertilizante e desenvolver o projeto.

A segunda fase é efetivamente o dimensionamento do biodigestor através dos cálculos efetuados com a ajuda dos dados recolhidos sobre o substrato a ter em conta e o local escolhido para a construção do biodigestor.

Depois de determinado o dimensionamento do biodigestor, utilizou-se a ferramenta SolidWorks para elaborar o desenho técnico do tipo de biodigestor escolhido. No final foi feita a previsão da

produção do biogás e uma análise estratégica do projeto tendo em conta todos os fatores e os dados recolhidos, bem como a conclusão final.

1.6 Estrutura

O projeto é estruturado em seis capítulos.

No primeiro capítulo, fez-se a contextualização demonstrando a relevância do trabalho, bem como a motivação e os objetivos da realização do trabalho. Introduziu-se as noções básicas das energias renováveis de um modo geral, dando em especial atenção a biomassa e a sua forma de aproveitamento, sem deixar de demonstrar quanto importante é para o ambiente.

No segundo capítulo, foi feita uma pesquisa bibliográfica de forma a complementar informações já adquiridas ao longo da Licenciatura acerca de alguns conceitos importantes, bem como a biomassa, o biogás, o biofertilizantes e o biodigestor, e as suas características e técnicas.

No terceiro capítulo, foi apresentado um estudo caso analisando o seu desenvolvimento, descrevendo comparações e conclusões em relação ao nosso território.

No quarto capítulo foi feita a modelação do biodigestor, começando pela escolha do tipo de matéria-prima e bem como o local da realização do estudo do tipo de biodigestor escolhido.

No quinto capítulo, através de noções matemáticas fez-se os cálculos para o dimensionamento do tipo de biodigestor, utilizando a ferramenta SolidWorks para projetar o possível desenho técnico dos constituintes do biodigestor escolhido e suas medidas.

No sexto capítulo foram apresentados os resultados e as discussões, fazendo a previsão da produção de biogás do projeto e uma análise do projeto.

CAPÍTULO II

2. Abordagens bibliográficas

As formas de aproveitamento da energia de biomassa têm revelado ser muito vantajosas para o meio ambiente, apesar dos grandes avanços nas tecnologias da captação das energias do sol, vento e dos mares. Existem vários estudos e projetos no seio da energia de biomassa por todo mundo, em que se aproveita os resíduos orgânicos para a produção de energias. Criação de fortes incentivos a valorização energética dos resíduos orgânicos devido ao forte potencial, devendo ser exploradas. Muitos países já têm unidades de tratamento de biomassa com tecnologias simples e design fácil de reproduzir para produção de biogás.

Sabe-se que Cabo Verde se encontra situado no atlântico, onde o clima é seco e temperado, ambiente propício para a prática da agricultura e pecuária em quase todas as ilhas. Vantagens essas propícias para a produção de biomassa necessária para gerar energia, utilizando tecnologias de conversão.

2.1 História da biomassa

Apenas há pouco mais de 100 anos a biomassa acabou perdendo sua liderança para a energia do carvão e, posteriormente, com o crescimento contínuo do petróleo (actualmente a principal substância empregada) e do gás natural, sua utilização foi reduzida praticamente às residências em regiões agrícolas.

Ao longo dos anos a biomassa foi utilizada principalmente para a produção do fogo como fonte de calor e luz, a madeira foi durante longo período a principal fonte energética. Através da queima da madeira, a tecnologia a vapor passou a ter papel relevante para a produção de energia mecânica. Com a evolução do Homem e o domínio desse recurso natural permitiu a exploração de minerais e metais. Apesar da ampla utilização dos combustíveis fósseis, a lenha continua a ter importante papel energético, principalmente nos países tropicais.

Assuntos como desmatamento florestal, emissões de carbono e aquecimento global passaram a ser debatidos em escala cada vez maior e entraram definitivamente na pauta de discussão de autoridades políticas, económicas, científicas e culturais. Atualmente a biomassa satisfaz 14% das necessidades energéticas em todo mundo.

Em 1808, Sir Humphrey Davy, concluiu que a digestão anaeróbica de dejetos (biomassa) de bovinos produzia metano. Após a II Guerra Mundial, devido à forte procura de energia, o processo de digestão anaeróbica experimentou um grande crescimento na Europa.

A humanidade tem empenhado muitos esforços na busca de novas tecnologias que possibilitem o uso de novas fontes energéticas com quesitos de sustentabilidade, eficiência e disponibilidade de longa duração.

2.1.1 Biomassa

A biomassa, que pode ser caracterizada como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica, mecânica ou elétrica (ANEEL, 2009). Nas últimas décadas, a biomassa entrou no cenário energético como uma alternativa para a diversificação da matriz mundial e com isso a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis. Mesmo sendo pouco expressiva nesta matriz, com apenas 13% do consumo mundial de energia primária (IEA, 2007)

Existem em grande abundancia produtos brutos variados que podem servir como **matéria-prima** na produção de energética da biomassa, entre eles estão:

a) Vegetais não lenhosos:

- Sacarídeos-cana
- Celulósicos-capim
- Amiláceos-milho
- Aquáticos- algas
- Oleaginosas-girassol

b) Vegetais Lenhosos:

- Madeiras – eucalipto

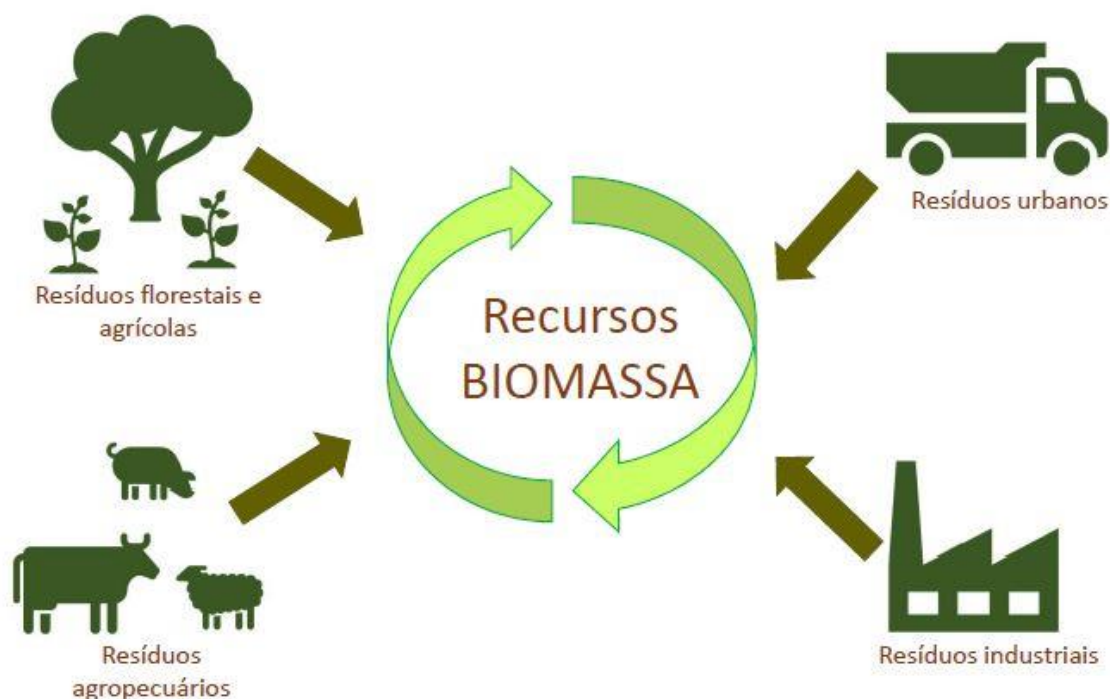
c) Resíduos Orgânicos:

- Agro-pecuários-Esterco
- Urbanos - lixos
- Agro-industriais- bagaço

d) Resíduos florestais:

- Resíduos agrícolas e culturas energéticas- cana-de-açúcar, beterraba, óleos vegetais, casca de arroz, etc.
- Madeira

Figura 1- Biomassa e matéria-prima



Fonte: showenergy.com.br

2.1.2 Combustível

Através da biomassa se pode produzir combustível partir da sua forma bruta, ou então aplicando tecnologias de conversão de energia de forma a obter biocombustíveis como o biogás, bio-óleo. O biogás pode ser classificado como biocombustível por ser uma fonte de energia renovável, sendo uma forma de obter energia que pode auxiliar o ser humano a se emancipar da dependência dos combustíveis fósseis. Visto como o substituto do gás natural, por conter alto poder calorífico, menor custo e por ser menos poluente. Atualmente, existem dois destinos possíveis para o aproveitamento do biogás como um combustível. O primeiro caso é a queima direta (aquecedores, esquentadores, fogões, caldeiras). O segundo caso diz respeito à conversão de biogás em eletricidade. Assim, os sistemas que produzem o biogás podem tornar a sua exploração

benéfica em termos energéticos, bem como contribuir para a resolução de problemas de poluição de rejeitos e efluentes.

Este tipo de energia nos leva à questão tão importante de buscar novas fontes de energia alternativa, porque o mundo precisa encontrar fontes energéticas para substituir as tradicionais, como petróleo, carvão, que provocam grande poluição e impactos ambientais. (Eduardo de Freitas, Graduado em Geografia)

2.1.3 Protocolo de Quioto

Entende-se pelo Protocolo de Quito como, um acordo internacional que estabelece metas de redução de gases poluentes para os países industrializados. O protocolo foi finalizado em 1997, baseado nos princípios do Tratado da ONU sobre Mudanças Climáticas, de 1992. O acordo só entrou em vigor em 2005, quando obteve a adesão da cota mínima de países (PEREZ et al, 2008). Para atingir as metas de cortar as emissões, o protocolo criou três mecanismos: a troca de emissões entre países com metas a cumprir, a implantação de projetos conjuntos para reduzir emissões e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Basu (2009) explica que o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um sistema no qual os países participantes podem obter reduções de gases de efeito estufa por meio da compra de certificações de créditos de carbono de projetos que reduzem emissões em países em desenvolvimento. Dito assim o MDL consiste na elaboração de projetos de desenvolvimento de tecnologias limpas com suporte financeiro dos países desenvolvidos que não cumprem as suas metas de redução de gases responsáveis pelo efeito estufa. Esse mecanismo permite que os países que têm que cumprir metas invistam na redução de emissões nos países em desenvolvimento em vez de reduzir emissões "em casa".

Entretanto os projetos de MDL só tem condições de existir se tiverem uma forte e experiente estrutura para idealiza-los e suporta-los, ou seja, devem gerar recursos suficientes para suportar os custos de implementação e manutenção com objetivo de gerar benefícios sociais e ambientais (RIBEIRO, 2005). Além dos benefícios sociais e ambientais, verificou-se o retorno significativo

dos investimentos realizados no desenvolvimento e implementação de alguns projetos em comparação com outras oportunidades de negócio, gerando assim benefícios econômicos devido a sustentabilidade dos projetos (REZENDE, 2006).

Sob o princípio de "responsabilidades comuns, mas diferenciadas", que reconhece um dever maior dos países ricos pelo combate ao aquecimento global, por terem contribuído mais para ele e por terem mais condições de pagar, o protocolo não fixou metas de emissão para os países pobres e em desenvolvimento.

2.1.4 Biomassa VS Potencial energético VS Sustentabilidade

Nas zonas rurais utiliza-se muito a lenha para necessidades domésticas, mas de forma não sustentável tendo consequências negativas, como o desaparecimento da vegetação. Por outro lado, devido à dificuldade na obtenção de lenha, muitas famílias optaram pelo gás butano. Gás butano que tem a característica de ser um combustível fóssil prejudicial ao ambiente, sem falar no elevado custo monetário.

Aproveitar os dejetos como biomassa, contribui para grande impacto positivo do meio ambiente e sustentável do local. Utilizando sistemas adequados para o tratamento dos dejetos contribui a produção de biogás e biofertilizante ricos em características vantajosas ao ambiente devido a diminuição da criação e proliferação de moscas, doenças e da degradação do solo.

Além disso, o biogás e o biofertilizante produzido contem grande potencial energético, servindo de substituto dos combustíveis fósseis, diminuindo nos custos e contribuindo para o crescimento econômico sustentável.

2.2 Tecnologias de conversão da biomassa

Atualmente a conversão energética da biomassa é efetuada de formas diversas e em vários níveis de complexidade, havendo processos tão simples como a mais elementar queima do composto orgânico, chegando a processos que utilizam elaborados procedimentos industriais com diversos níveis de controle. Segundo Cortez e MME junto com EPE os processos de conversão podem ser caracterizados quanto ao tipo de transformação imprimida à fonte energética, sendo divididos em:

- **Processo de conversão termoquímica**

É caracterizada por reações endotérmicas que ocorre com a absorção de calor e exotérmicas quando a reação ocorre com libertação de calor, tendo como resultado final a geração de calor por intermédio da combustão de um energético.

Pirólise: através dessa técnica, a biomassa é exposta a supramaximas temperaturas sem a presença de oxigénio, visando a acelerar a decomposição da mesma. O que sobra da decomposição é uma mistura de gases, líquidos (óleos vegetais) e sólidos (carvão vegetal).

Gaseificação: assim como na pirólise, aqui a biomassa também é aquecida na ausência do oxigénio, originando como produto final um gás inflamável. Esse gás ainda pode ser filtrado, visando à remoção de alguns componentes químicos residuais. A diferença básica em relação à pirólise é o fato de a gaseificação exigir menor temperatura e resultar apenas em gás.

Combustão: aqui a queima da biomassa é realizada a altas temperaturas na presença abundante de oxigénio, produzindo vapor a alta pressão. Esse vapor geralmente é usado em caldeiras ou para mover turbinas. É uma das formas mais comuns hoje em dia e sua eficiência energética situa-se na faixa de 20 a 25%.

- **Processo de conversão físico-química**

A conversão físico-química da biomassa, em especial de vegetais oleaginosos, consiste em um processo de prensagem ou compressão, seguido pela extração de óleos vegetais, para posterior modificação química em procedimentos chamados esterificação e transesterificação.

A compressão é o processo de uma força sobre a matéria resultando na redução do seu volume.

- **Processo de conversão bioquímica ou biológica**

A conversão bioquímica da biomassa é caracterizada pelo uso de processos biológicos e bioquímicos de transformação da matéria-prima orgânica. Esses processos incluem a fermentação alcoólica da biomassa, a destilação, a hidrólise e por fim com maior destaque o procedimento de digestão anaeróbica da biomassa, quando a finalidade for a geração de energia elétrica.

A fermentação alcoólica é um procedimento antigo e acompanha a história da humanidade a milhares de anos, podendo ser definida, de forma simplificada, como sendo a transformação biológica de um açúcar em etanol e gás carbônico. Essa transformação é possível graças à ação metabólica de organismos biológicos, sendo as leveduras um bom exemplo destes organismos.

Já a destilação é um processo complementar à fermentação alcoólica, sendo usado para alcançar padrões de qualidade e concentração de etanol, exigidos pela legislação do setor sucroalcooleiro. É com a destilação do mosto açucarado da cana-de-açúcar, após a fermentação, que são eliminados diversos contaminantes desta mistura e são separados seus dois mais importantes componentes: o álcool etílico anidro combustível e o álcool etílico hidratado combustível.

Os processos de hidrólise que podem ser aplicados: a hidrólise ácida, que possui baixo custo, mas que por outro lado tem como subprodutos resíduos poluentes, que inibem a fermentação posterior, e a hidrólise enzimática, que é menos poluente, mas tem custos mais elevados.

Destaque nos processos bioquímicos de conversão da biomassa é dado à biodigestão anaeróbica, esse processo tem como resultado final uma mistura de gases, denominada biogás.

2.3 Biogás

O biogás ou “gás dos pântanos”, de acordo com Diego Fernandes Farias e Mário Augusto Alves Silva Júnior, foi descoberto por volta de 1667, mas somente um século mais tarde, em 1776,

Alessandro Volta descobriu a presença de metano no gás dos pântanos. Já no século XIX Ulysse Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

Entretanto os mesmos autores realçam que os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão de forma mais intensa e com finalidade energética foram a Índia e a China, nas décadas de 50 e 60 do século XX, sendo que esses países e outros, geralmente do terceiro mundo, desenvolveram seus próprios modelos de biodigestores.

O biogás denomina-se a uma fracção gasosa que resulta da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos (esterco, lixo, bagaço). O biogás é composto principalmente por metano, dióxido de carbono, e outros gases. O biogás pode ser classificado como biocombustível por ser uma fonte de energia renovável, sendo uma forma de obter energia que pode auxiliar o ser humano a se emancipar da dependência dos combustíveis fósseis. Tem característica de ser um gás incolor, com alto poder calorífico e altamente inflamável produzindo então uma chama azul-clara.

Tabela 1- Constituintes do biogás

Gases	Percentagem %
Metano	55-65
Dióxido de carbono	35-40
Outros Gases	10-5

Fonte: Magalhaes,1986 (Adaptado)

2.3.1 Propriedades dos gases que compõem o biogás e seu efeito fisiológico

É um gás inodoro que queima sem deixar fuligem, mas devido à presença do gás sulfídrico (H₂S), apresenta um odor típico (ovo podre), que pode ser usado para detectar vazamentos. É

armazenado sob baixa pressão (0,009 kg/cm²) e não pode ser levado a longas distancias, usualmente 50 a 150 m, sem utilizar compressor. (Ferraz e Marriel, 1980)

Tabela 2- Propriedades dos gases e seus efeitos fisiológicos

Gás	Peso Específico	Taxa Explosiva Min% - Max %	Odor	Cor	Efeitos Fisiológicos
Amônio (NH₃)	0,6	16% -	Picante constante	Nenhuma	Irritante: irritação dos olhos e garganta
Dióxido de Carbono (CO₂)	1,5		Nenhum	Nenhuma	Asfixiante: causa sonolência, dor de cabeça
Gás sulfídrico (H₂S)	1,2	4% - 16%	Ovo Podre	Nenhuma	Toxico: irritação dos olhos e nariz, dor de cabeça, náuseas, excitação, inconsciência
Metano (CH₄)	0,5	6% - 15%	Nenhum	Nenhuma	Asfixiante: dor de cabeça

Fonte: Ferraz e Marriel (1980)

2.3.2 Poder calorífico do biogás

Uma das características mais importantes de um gás é que apresenta a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa ou volume no caso de gases é denominada de poder calorífico, também conhecido como poder de queima, calor de combustão ou potência calorífica. Quando se determina a composição de um combustível, verifica-se que o mesmo é geralmente composto por carbono, hidrogénio e oxigénio. Quando há a combustão do mesmo, há a formação de água como produto dessa reação devido à presença de hidrogénio, essa água pode estar no estado líquido, gasoso ou ainda em ambos. Caso a água formada na combustão se condense é obtido o poder calorífico do combustível superior (PCS), mas se a água estiver no estado gasoso é obtido o poder calorífico inferior (PCI), em consequência disso o biogás também terá ambos os poderes caloríficos. (Ribeiro. W. X, 1993)

Tabela 3– Propriedades físicas e químicas do metano

Peso molecular	16,04 u.m.a
Ponto de ebulição, a 1,00 atm	-161,49 °C
Ponto de congelamento, a 1,00 atm	-182,48 °C
Pressão crítica	45,84 atm
Temperatura crítica	-82,50 °C
Peso específico (0*, 1,00 atm)	0,718kg/m ³
Poder calorífico superior	9.520,00 Kcal/m ³
Poder calorífico inferior	8.550,00 Kcal/m ³
Relação ar/combustível	9,53 Litros/1Litro
Limites de inflamabilidade	5,00 A 15,00% em vol.

Números de octanos	130,00
Temperatura de ignição	650,00 *C
Energia de ignição	300,00uJ
Velocidade de chama	0,40m/s

Fonte: Craveiro,1982.

De acordo com a concentração de metano no biogás o poder calorífico pode variar entre 5.000 a 7.000 Kcal/m³ para o poder calorífico inferior e superior, respectivamente, após o devido tratamento o biogás pode atingir um poder calorífico próximo a 12.000 kcal/m³.

Tabela 4– Alguns Combustíveis

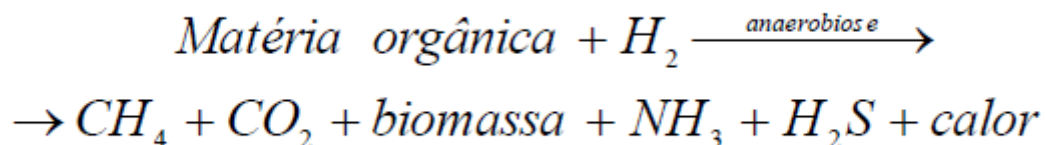
Combustível	Kcal
Madeira	4.500/kg
Carvão vegetal	7.620/kg
Diesel	8.500/kg
Gasolina	7.700/kg
Álcool etílico 96*	5.100/litro ou 6.400/kg
GPL (gás liquefeito de petróleo)	11.000/kg

Fonte: Gryschek e Belo, 1983.

2.3.3 Digestão anaeróbica

Segundo Malina Jr; POHLAND, 1992 apud DAL MAGO, 2009, a digestão anaeróbia é um decurso biológico de degradação da matéria orgânica executado na ausência de oxigênio e é desenvolvida por um grupo de microrganismos capaz de transformar o material orgânico presente no meio, através de um número de etapas intermediárias, em dois produtos finais: CH₄ e CO₂, além de traços de outros gases, biomassa e fluente digerido.

Figura 2- Equação química da digestão anaeróbica.



Fonte: Kelleher. P, 2002.

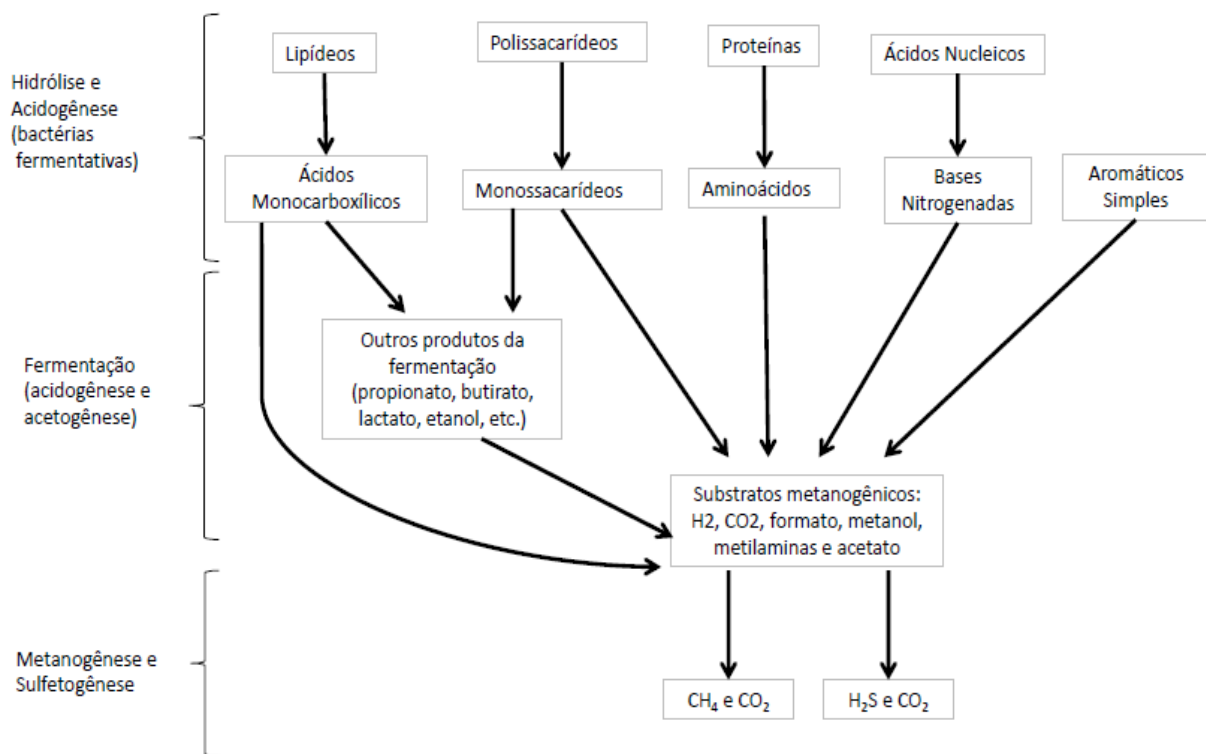
Os processos de digestão anaeróbia são importantes métodos de tratamento, que contribuem para a preservação dos recursos naturais e para o desenvolvimento sustentável pelo simples facto de apresentar vantagens. Segundo Sanchez et al 2005 o processo de digestão anaeróbia apresenta as seguintes vantagens:

- Baixa produção de sólidos (cerca de 2 a 8 vezes inferior à dos processos aeróbios);
- Baixo consumo de energia, o que implica em baixos custos operacionais (não necessita o aporte de oxigênio),
- Produção de CH₄, gás combustível de elevado poder calorífico,
- Possibilidade de preservação da biomassa sem alimentação do reator por vários meses,
- Tolerância a elevadas cargas orgânicas,

- Aplicabilidade em pequena e grande escala e baixo consumo de nutrientes

O processo de digestão anaeróbica envolve 3 fases de acordo com METCALF e EDDY. Primeiramente a hidrólise enzimática do material orgânico complexo em material orgânico simples; em seguida a conversão dos compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos através de bactérias anaeróbias e facultativas; e por fim a transformação dos ácidos orgânicos simples em CH₄ e CO₂ pelas bactérias metanogênicas.

Figura 3- Etapas da digestão anaeróbica



Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2003).

2.3.4 Etapas da digestão anaeróbica

Hidrólise

A hidrólise é a transformação de materiais particulados complexos (polímeros) em um soluto mais simples por enzimas excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas para que possam transpor a parede celular das bactérias fermentativas (METCALF; EDDY, 2003).

Acidogênese

A acidogênese equivale a uma metabolização dos produtos solúveis da hidrólise no interior das células através do metabolismo fermentativo. Os açúcares, aminoácidos e ácidos graxos resultantes da hidrólise são transformados em compostos orgânicos mais simples como os ácidos orgânicos (acético, propiônico e butírico), álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio, além de biomassa bacteriana (BELLI FILHO, 1995).

Acetogênese

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação de compostos orgânicos intermediários (propionato, butirato, etc.) em substrato que será convertido pelos microrganismos metanogênicos (acetato, hidrogênio, dióxido de carbono). A grande produção de H_2 (acetato) inibe a produção de acetato a partir de propionato e butirato. Assim, tais reações só poderão acontecer com a ação de microrganismos consumidores de acetato executado através de microrganismos metanogênicos hidrogenotróficos e por bactérias redutoras de sulfato (CHERNICHARO, 2007).

Metanogênese

É uma etapa de transformação geradora de alguns componentes do biogás por microrganismos metanogênicos dentro do domínio *Archaea*. Existem dois grupos principais de reações: um que forma CH_4 a partir de ácido acético ou metanol (metanogênicas acetoclásticas) e outro que produz CH_4 a partir do H_2 e CO_2 (metanogênicas hidrogenotróficas). Ambas as reações são de extrema importância ecológica em ambientes anaeróbios, pois removem o excesso de H_2 gerado

na etapa anterior, possibilitando a realização da etapa de acetogênese descrita anteriormente (BELLI FILHO, 1995).

Sulfetogênese

Neste processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto através de um conjunto de bactérias sulforedutoras, sendo o H_2S um componente do biogás produzido na anaerobiose. Tais bactérias têm a capacidade de utilizar muitos substratos diferentes como toda a cadeia de ácidos orgânicos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos. As bactérias sulforedutoras são concorrentes face às bactérias metanogênicas. A concentração de sulfato no meio vai revelar qual o processo predominante na utilização do acetato e hidrogênio (CHERNICHARO, 2007).

2.3.5 Aplicação do Biogás

Dependendo de qual for a aplicação do gás produzido, o metano deverá passar por um processo de purificação de modo a elevar seu poder calorífico com a retirada de água e do gás carbônico existentes na mistura. Além destes, pode estar presente na mistura gasosa o gás sulfídrico, que deverá ser removido uma vez que pode influenciar tanto o rendimento quanto a vida útil do motor por ser um gás altamente corrosivo.

Segundo Lamboley o biogás é extremamente inflamável, podendo ser usado para qualquer fim que necessite de combustível. Para a utilização do biogás é necessário recorrer a tecnologias capazes de realizar a conversão energética. A energia química contida nas moléculas do biogás é convertida em energia mecânica através da combustão; essa energia mecânica é então convertida em energia elétrica com a utilização de um gerador.

No entanto, o biogás também pode ser utilizado na produção de calor, o qual pode ser utilizado no aquecimento de, por exemplo, caldeiras para qualquer tipo de processo industrial que utilize ou necessite de água a altas temperaturas ou vapor de água. Atualmente a turbina à gás e os motores de combustão interna, ciclo de Otto, são as tecnologias mais utilizadas para aproveitamento energético do biogás.

Tabela 5 - Relação comparativa entre biogás e os combustíveis usuais

1m ³ de Biogás	Equivalência
	0,6 L de gasolina
	0,55L de óleo diese
	0,45 kg de gás liquefeito
	0,79 L de álcool combustível
	1,54kg de lenha
	1,43 kWh de energia elétrica

Fonte: Adaptado de Deganutti et al. (2002)

Tabela 6– Consumo de biogás em algumas aplicações

Aplicação	Consumo
Motor a explosão	0,45 m ³ /HP/h
Iluminação	0,120 m ³ /camisa de 100,0 W/h
Cozimento de alimento	0,340 m ³ /pessoa/dia
Forno de assar	0,420 m ³ /hora
Aquecedor de ambiente	0,227 m ³ /hora
Frigorífico	1,3 m ³ /dia

Fonte: Alves, 1980

2.4 Biofertilizante

Considera-se o biofertilizante como um material que já passou pelos processos de digestão anaeróbica. Devido a grande quantidade de nutrientes, este material apresenta alta qualidade para ser utilizado na fertilização dos solos.

O biofertilizante não possui odores desagradáveis, característicos dos dejetos que abastecem o biodigestor, é isento de microrganismos patogénicos e solo favorece a multiplicação de bactérias que fixam o nitrogénio. Contribuindo assim para isenção de agentes causadores de doenças e pragas, a não atração de mosca, insetos e roedores, aumentando a produtividade e fertilidade dos solos (SGANZERLA, 1983).

Segundo Parchen e Filho a composição média do biofertilizante é de 1,5 a 4,0% de nitrogénio, 1,0 a 5,0% de fosforo e 0,5 a 3,0% de potássio além de apresentar vários micronutrientes como cálcio, hidrogénio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, molibdénio e zinco, o que garante ao biofertilizante vantagens para a utilização como complemento ou substituto dos adubos nitrogenados químicos (Parchen, 1979; Filho, 1981).

O biofertilizante pode ser aplicado em qualquer tipo de cultura, anual ou perene, gramínea ou leguminosa, frutífera ou olerícola. A aplicação e dosagem da aplicação são quase sempre limitadas pela quantidade disponível do biofertilizante, e pode ser duplicada ou triplicada caso haja quantidade suficiente para isso. (Souza, Peixoto e Toledo, 1995)

Figura 4 - Aplicação do Biofertilizante no cultivo



Fonte: Google.

2.4.1 Características do Biofertilizante

- pH em torno de 7,5, funcionando como corretivo de acidez, libertando o fosforo e outros nutrientes para solo. Com o aumento do pH dificulta a proliferação de fungos patogénicos as culturas;
- Rico em nutrientes fáceis de serem absorvidos pelas plantas;
- Melhora a estrutura do solo facilitando a penetração das raízes alcançando camadas mais profundas proporcionando maior tolerância das plantas a períodos de secos;
- Diminui o poder germinativo de sementes de plantas daninhas com a fermentação do material no biodigestor, não havendo perigo de disseminação nas lavouras;
- Reduz a presença de coliformes fecais dos dejetos e elimina a presença e viabilidade dos ovos dos principais vermes que parasitam a criação de animais.

2.5 Biodigestores

Biodigestor entende-se pelo equipamento usado para o processamento anaeróbico de matéria orgânica para a produção de biogás e também biofertilizante.

Os biodigestores não são novidade, foram introduzidos modelos a muito tempo provenientes da China e da Índia. A estrutura é normalmente cilíndrica, vertical e superficial, ou seja, acima do solo acompanhada de uma redoma onde se acumula o gás. Segundo Castanho e Arruda (2008), no Brasil, os biodigestores ficaram conhecidos com a crise do petróleo, na década de 1970, sendo que os principais modelos implantados foram o Chinês e o Indiano. Conforme Nogueira (1986), não existe um modelo ideal de biodigestores para uma situação específica, mas sim uma enorme variedade de tipos construídos e aspectos operacionais que devem ser analisados para implantação de um determinado biodigestor.

De acordo com Magalhães (1980), os componentes geralmente ligados ao biodigestor são:

- a) Tanque de entrada: local de amostragem onde é feita a mistura do substrato;
- b) Tubo de carga: tubo condutor através do qual é feita a introdução do substrato no digestor;
- c) Digestor: reator onde ocorre a digestão anaeróbia da matéria orgânica;
- d) Septo: parede divisória de direcionamento do fluxo de efluentes dentro do digestor;
- e) Gasómetro: câmara onde o biogás produzido na fermentação é armazenado;
- f) Tubo guia: guia de deslocamento vertical do gasómetro devido a expansão ou compressão pela produção de biogás, apresentando-se apenas no biodigestor do modelo indiano;
- g) Tubo de descarga: conduto por onde o efluente digerido é expelido;
- h) Tanque de descarga: caixa de saída do efluente digerido;
- i) Saída do biogás: tubulação instalada no gasômetro para saída do biogás. Possui uma válvula para controle da saída de gás.

Quanto a forma de abastecimento os biodigestores podem ser classificados em batelada quando recebem o carregamento da matéria orgânica, que é somente substituído após o período adequado a digestão de toda matéria depositada inicialmente; e contínuo que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que cada entrada de substrato orgânico a ser processada, exista saída do produto final tratado.

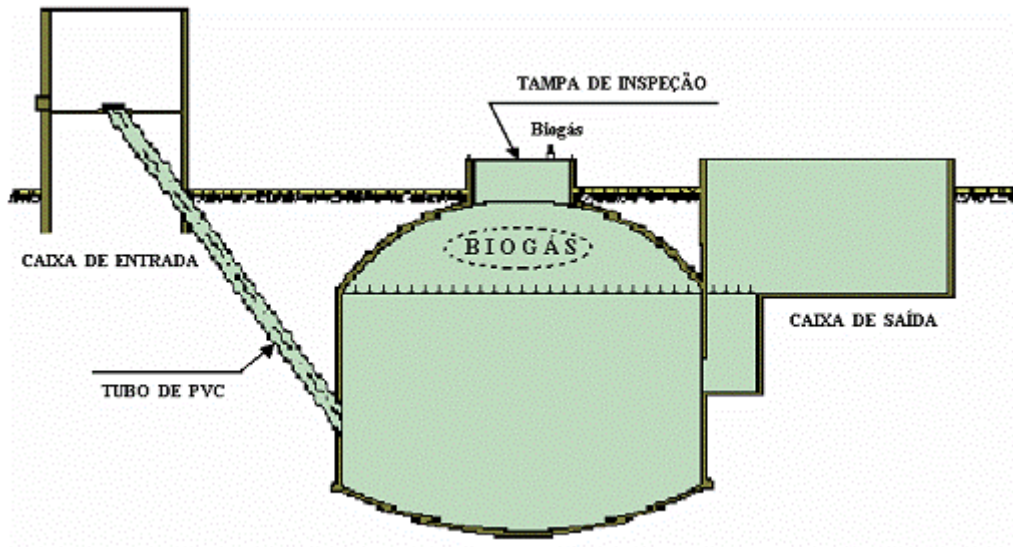
O biogás produzido nos biodigestores pode ser utilizado como fonte de energia primária para fornecer energia mecânica em turbinas e motores, os quais acoplados a geradores eléctricos são capazes de produzir energia eléctrica que pode ser utilizada localmente ou vendida para a concessionária de energia eléctrica local.

2.5.1 Tipos de biodigestores

- **Chinês**

Construído em alvenaria em formato cilíndrico para fermentação, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás, o qual fica em contato com a matéria orgânica. Desenvolvido na China, inspirado no modelo Indiano havendo adaptações devido as condições locais da China, onde as propriedades eram pequenas, sendo assim construída abaixo do solo. Segundo Deganutti (2002), ao contrário do modelo Indiano, o modelo Chinês possui variação da pressão interna, funcionando de modo que o aumento de pressão resultará em deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão.

Figura 5- Biodigestor Chinês

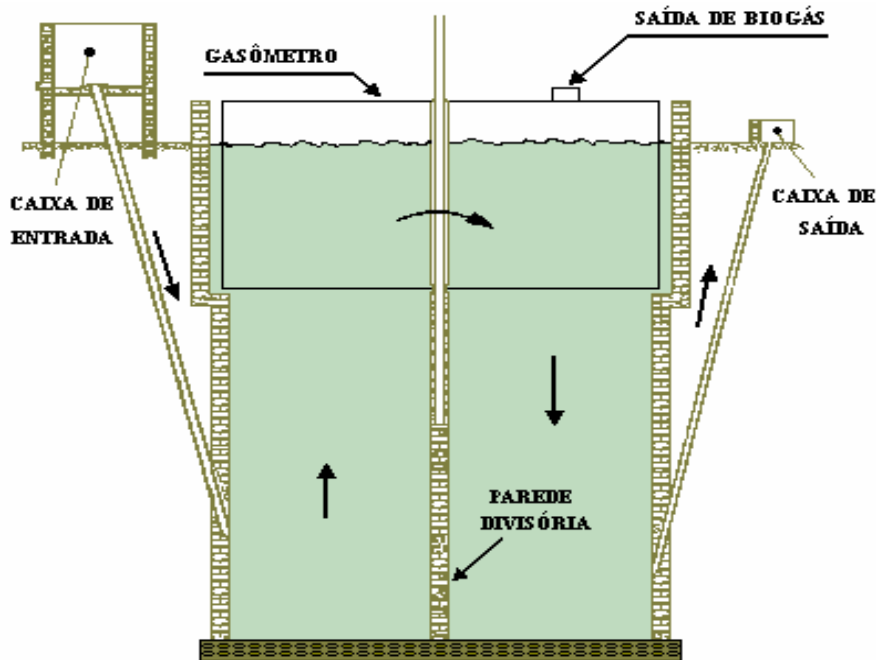


Fonte: Deganutti (2002)

- **Indiano**

Nogueira (1986), afirmou que modelo Indiano pode ser considerado o modelo mais popular para resíduos rurais. A cúpula deste biodigestor é feita de ferro ou fibra e é móvel, pois movimenta-se para cima ou para baixo de acordo com a produção de biogás; e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas camarás, acarretando a movimentação do resíduo por todo o biodigestor. Neste tipo de biodigestor o processo de fermentação é rápido pois não há grandes variações de temperatura. Ocupa pouco espaço pois a construção é subterrânea. Caso a cúpula seja de metal, deve fazer-se o uso de uma boa pintura antioxidante. É preciso ter cuidado e evitar infiltrações nos lençóis freáticos.

Figura 6 - Biodigestor Indiano

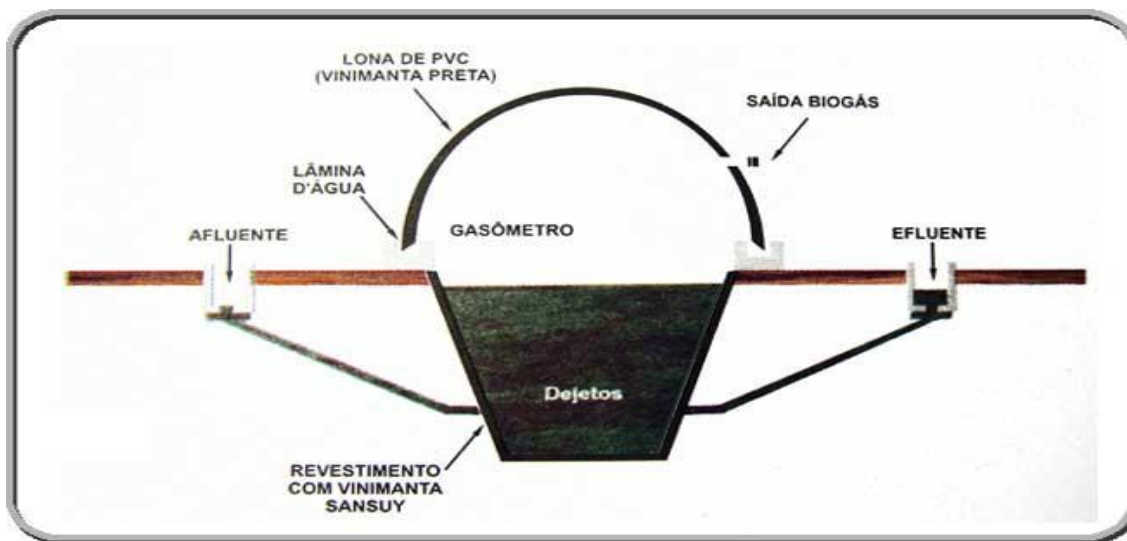


Fonte: Deganutti (2002)

- **Canadiano**

O modelo canadiano diferencia-se pelo fato de ser do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga feita em alvenaria e com largura maior que a profundidade, possuindo, então, uma maior área de exposição ao sol, que em climas quentes contribui para uma grande produção de biogás pela elevação da temperatura. Segundo Pereira (2009), este biodigestor é constituído por uma caixa de entrada para onde são canalizados os dejetos; uma câmara de fermentação subterrânea revestida com material impermeável; campânula superior construída com lona plástica para reter o biogás produzido; uma caixa de saída, por onde passa o efluente final; um registro para saída do biogás e um queimador do biogás.

Figura 7- Biodigestor Canadense



Fonte: Manual de Treinamento em biodigestão, 2008.

De acordo com alguns autores, como Preston e Lansing, mais de 7 milhões de biodigestores do modelo Chinês foram construídas no mundo, principalmente na China. São geralmente construídos a partir de cimento e exigem um alto nível de habilidade, tempo e dinheiro. Sem contar que tem baixas taxas de produção de gás e desperdício de tempo de retenção hidráulica. Apresentando frequentemente vazamentos de gás difíceis de identificar e reparar. Contudo, houve uma grande queda nas instalações deste sistema em todo mundo devido a forte dependência de subsídios governamentais.

Com uma estimativa de 3 milhões de biodigestores do modelo Indiano, tendo um design muito semelhante ao do biodigestor do modelo Chinês, mas com a diferença de que a cúpula do modelo Indiano não ser fixo. Movendo para cima ou para baixo de acordo com a pressão de gás gerada no sistema. O biodigestor do modelo Indiano é o mais caro por ser constituído por peças móveis e uma tampa de metal ou de fibras.

O modelo Canadense surge como resposta ao alto custo e habilidade de construção dos modelos Chinês e Indiano, devido ao seu baixo custo. Modelo descrito por Pound et al. (1981) e

simplificado por Preston e colegas de trabalho. Existem mais de 20.000 sistemas instalados no Vietnã, sendo que os primeiros foram construídos na Etiópia e na Colômbia.

Foi projetado e testado biodigestores do sistema Canadano, aperfeiçoados por Preston e Botero na Universidade de Agricultura da Região Tropical Úmida (EARTH) na Costa Rica. Seus estudos na EARTH levaram a instalação de mais de 1000 sistemas na Costa Rica. (Preston, 2002; Lansing, 2007; Lansing, 2008)

Figura 8 - Comparação entre os tipos de biodigestores (adaptado)

	Chinês	Indiano	Canadense
Materiais	Tijolo, cimento, pedra e areia.	Tijolo, cimento, pedra, areia, ferro ou alumínio	Tijolo, cimento, areia e plástico
Isolamento Térmico	Feito dentro da terra: bom isolamento natural, a temperatura constante	Tem perdas de calor pelo camará de gás metálica, difícil de isolar. Menos indicado para climas frios	Não tem problema de perda de calor
Perdas de Gás	A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não porosos;	Sem problemas	Sem problemas
Manutenção	Deve ser limpo, um ou duas vezes ao ano	A camará de gás deve ser pintada uma vez ao ano	Deve ser limpo uma vez ao ano

Fonte: Barrera, 2003

2.5.2 Princípio de Funcionamento

De um modo geral os biodigestores funcionam como digestores de matéria. A matéria orgânica é introduzida na caixa de carga, passando pelos canos até ao tanque principal onde ocorrerá a digestão anaeróbica devido à não existência de oxigénio. Em função do tipo de substrato e do tempo que este precisa para sofrer a fermentação, é determinada o tempo de retenção hidráulico necessário para se atingir o objetivo do projeto.

2.5.3 Operacionalidade do biodigestor

2.5.3.1 Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)

Segundo Beux e Mazzuchi, tempo de retenção hidráulica é visto um dos fatores principais para uma boa operacionalidade.

- É o tempo em que um substrato qualquer passa no interior de um digestor, isto é, o tempo entre a entrada e a saída dos diferentes materiais do digestor
- O tempo de retenção ou de digestão varia em função do tipo de biomassa, granulometria da biomassa, temperatura, pH da biomassa, etc.
- De modo geral, situa-se na faixa de 4 a 60 dias
- Normalmente, o tempo de digestão para esterco de animais domésticos situa-se na faixa de 20 a 30 dias

2.5.3.2 Produção

- A produção de biogás, nos biodigestores que utilizam dejetos animais como matéria-prima, não apresenta nenhum problema, pois as fezes dos animais já contêm bactérias metanogénicas

- Já nos biodigestores que funcionam com resíduos celulósicos a inoculação deve ser realizada com dejetos de animais para garantir a presença de bactérias metanogénicas, sem as quais não há produção de biogás
- Após a arrancada inicial (± 20 dias), substitui-se gradativamente, os dejetos animais pela matéria celulósica que será utilizada como matéria – prima
- Esterco das vacas, único que conte a bateria necessária para o bom início do processo, logo é depositado no biodigestor, mas só no início do processo.

2.5.3.3 Factores que influenciam a produção de biogás utilizando o biodigestor

Segundo alguns autores como Filho, a biodigestão anaeróbia é bastante exigente e necessita de controlo de alguns fatores para que haja um melhor aproveitamento do sistema de digestor:

1. Tipo de resíduos: o tipo de matéria orgânica utilizada também é fundamental uma vez que é necessário manter uma relação carbono/nitrogénio favorável e a quantidade de sólidos voláteis deve ser grande o suficiente para garantir uma boa produtividade (estes fatores dependem do tipo de matéria orgânica utilizada).
2. Presença de substâncias tóxicas: a presença de substâncias tóxicas no substrato é extremamente nociva ao processo uma vez que pode eliminar as bactérias decompositoras comprometendo o processo de produção do biogás. Por esse fato a água de lavagem de utensílios, de dependências (cozinha, banheiros e vestiários) não devem ser introduzidas no Biodigestor, devido a elevada carga de detergentes, desinfetantes e derivados de petróleo presentes.
3. Quantidade de água: o biodigestor funciona por carga hidráulica e, portanto, necessita de certa quantidade de água para funcionar. Por isso, matérias orgânicas com baixa umidade necessitam de um acréscimo de água (de acordo com o tipo de matéria) para que se atinja uma relação propícia. O esterco bovino, por exemplo,

apresenta em média 85% de água necessita de 100% do seu volume de água (proporção de 1:1).

4. Quantidade de Matéria Seca (MS): Na produção de metano, a biomassa usada deve conter um teor de 7 a 9% de MS, isto é, cada 100 litro de biomassa deve conter uma média de 8 Kg de MS para biodigestores contínuos. Para os batelados a concentração de matéria seca pode chegar a 25% de MS, ou seja, 25 kg de MS para cada 100 litros de biomassa.
5. Concentração de Nutrientes: A presença do carbono, nitrogênio, potássio, fosforo e enxofre e alguns micronutrientes minerais, vitaminas e aminoácidos são indispensáveis para o desenvolvimento das arqueas metanogênicas, sendo assim, o conhecimento da composição química e o tipo de biomassa utilizada é muito importante. Se for necessário, pode ser feita a dosagem de nutrientes e ativadores químicos para que ocorra uma boa fermentação da biomassa.
6. PH: O pH é um índice de acidez ou alcalinidade da mistura no interior do biodigestor e pode ser medido. Segundo Vitoratto, para a conversão de proteínas a aminoácidos, a faixa de operação ótima do biodigestor se encontra entre pH 7,0 e 7,5 ao passo que para a conversão de aminoácidos a ácidos o valor ótimo do pH é de aproximadamente 6,3.

Para a necessidade de correção tanto da acidez quanto da alcalinidade do meio do biodigestor, recomenda-se utilização de cal, carbonato de sódio (Na_2CO_3), soda cáustica (NaOH), bicarbonato de sódio (NaHCO_3) ou biocarbonato de potássio (KHCO_3). Para maior acidez recomenda-se o utilização de ácido acético (CH_3COOH), acetato de sódio (CH_3COONa), ácido carbônico (H_2CO_3), amoníaco (NH_3) ou cloreto de amônio (NH_4Cl).

7. Relação carbono / nitrogênio: a relação entre a quantidade de carbono e nitrogênio do substrato é fundamental para haja a formação dos ácidos orgânicos que serão transformados pelas bactérias metanogênicas em biogás. A proporção ideal está em torno de 1:30 ou 1:20, ou seja, de 20 a 30 partes de carbono para uma parte de

nitrogênio. Muito mais ou menos do que isso, ocasionará perdas significativas ao processo de biodigestão.

2.5.4 Avaliação do impacto dos biodigestores

No Ambiente

- Impactos na atmosfera (gestão de excrementos e combustão);
- Impactos na água e no solo (redução de efluentes nocivos ao meio ambiente);
- Aproveitamento dos produtos da tecnologia;
- Redução de resíduos sólidos e reciclagem;
- Redução na deflorestação.

Na Economia

- Geração de energia limpa;
- Aumento da produtividade (aumento do número de animais);
- Possibilidade de produção orgânica;
- Redução de Custos de Energia / Fertilizantes.

Na sociedade

- Bem-estar da população (controle de insetos e odores masculinos);
- Redução do tempo na coleta de lenha;
- Facilidade de gerenciamento;
- Desenvolvimento Rural;
- Saúde comunitária e familiar;
- Redução da migração para as cidades;
- Auto abastecimento de alimentos e energia;
- Melhoria na nutrição familiar;
- Sentimento comunitário e participativo.

Na saúde

- Taxa de doenças respiratórias;
- Taxa de mortalidade;

- Infecções oculares;
- Doenças diarreicas agudas;
- Saúde da Família.

2.5.5 Cuidados

- O abastecimento depende do seu uso;
- Por ser um biodigestor que fica no subsolo, é preciso ter cuidado, evitando infiltração no lençol freático. Utilizando drenos ajuda a evitar infiltrações;
- Manter o biodigestor e o depósito de biofertilizantes isolados de crianças e animais evitando incômodos;
- Uma vez por mês, verificar o estado geral das instalações de biogás em inspeção visual. Observe especialmente as juntas e emendas para verificar se está ocorrendo algum vazamento, pincelando com água e sabão;
- Não improvise: use braçadeiras e conexões adequadas;
- Instale corretamente os drenos da água;
- Tubos plásticos do tipo mangueira, em forros e porões, favorecem a presença de roedores;
- Providencie ventilação adequada em torno da linha de gás dentro da casa;
- Não fume e não acenda fósforos perto do biodigestor.

2.5.6 Risco de explosão

Quando no interior do biodigestor se mistura o biogás com o oxigênio, corre-se o risco de uma explosão. Por isso recomenda-se que o biogás produzido inicialmente seja libertado e não queimado

Para não correr o risco da explosão, deixe a válvula de saída de biogás fechado, quando a manta estiver inflada ou cheio da mistura de biogás e ar, abra o registro e liberte toda a mistura, fechando em seguida a válvula de saída de gás. Partir desse momento já se pode utilizar biogás em segurança. É importante estar atento aos vazamentos para que sejam reparados. A produção

inicial do biogás contém muito CO₂, por isso deve desprezá-la, abrindo o registro até que o gasómetro esvazie até à metade.

2.5.7 Custos de Construção dos Biodigestores

Os custos unitários dos materiais utilizados para a construção dos biodigestores modelo chinês, indiano e canadense foram consultados nas tabelas de índices da construção civil do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, para o mês de Setembro de 2012 (SINAPI, 2012).

Para composição dos custos de construção dos biodigestores, foi considerado a capacidade do biodigestor, o custo com materiais de construção, escavação e mão-de-obra. Calculando a quantidade de materiais utilizados na construção dos diferentes modelos de biodigestores com capacidade de 20;40;60;80;100 e 120m³ para obtenção dos custos de construção de cada um deles. Custos apresentados na tabela seguinte:

Tabela 7 - Custos dos diferentes tipos de biodigestores em relação a capacidade.

Capacidade do Biodigestor (m ³)	Custo Total por Modelo de Biodigestor (ESC\$)		
	Indiano	Chinês	Canadense
20	127.814,46	102.300,52	53.086,77
40	179.124,94	143.298,95	79.781,54
60	238.189,02	190.549,7	105.668,91
80	289.426,33	231.540,56	131.556,27
100	315.046,24	272.533,93	157.443,64
120	357.745,26	313.524,79	183.331,01

Fonte: SINAPI, 2012.

A partir dos dados apresentados, pode-se afirmar que o modelo Canadense é o que apresenta menor custo para maior capacidade de animais atendidos, assim como o modelo Indiano apresenta maior custo de implementação para pequenos volumes. Tendo isso, permite identificar o modelo Canadense como o biodigestor que apresenta menor custo de produção de energia a partir do biogás.

CAPÍTULO III

3. Caso de estudo no México

O México oferece uma boa oportunidade para examinar uma ampla gama de contextos ambientais, sociais e económicos para o desenvolvimento de projetos de instalação de biodigestores.

O Programa de Biogás do México é uma iniciativa iniciada por membros do IRRI com organizações comunitárias locais de Michoacán e Chiapas. O programa desenvolveu especificamente programas educacionais e pesquisa técnica envolvendo biodigestores de pequena escala no México (IRRI, 2009). O Programa de Biogás IRRI-México foi desenvolvido inicialmente para apoiar os esforços da Sra.Nambo em Michoacán. O primeiro projeto do Programa de Biogás México foi um curso de instalação de biodigestores em Junho de 2006.

O sistema de biodigestores em foco foi o modelo de plástico de saco tubular de baixo custo que em norma exige uma vala profunda onde fica instalada, quase idêntico ao modelo canadiano. Com pouco mais de três anos de operação, o Programa de Biogás do México chegou a duas conclusões principais que rodeiam a implementação de sistemas de biodigestores em pequena escala. Primeiro, sobre tudo a confiabilidade técnica de modelos simples de plástico-saco era muito baixo, e isso foi um fator importante que influencia a taxa de adoção da tecnologia. Em segundo lugar, havia elementos não-técnicos programáticos para um programa de instalação do biodigestor, em especial a educação e acompanhamento, que também influenciam a adoção e o sucesso dos sistemas de biodigestores.

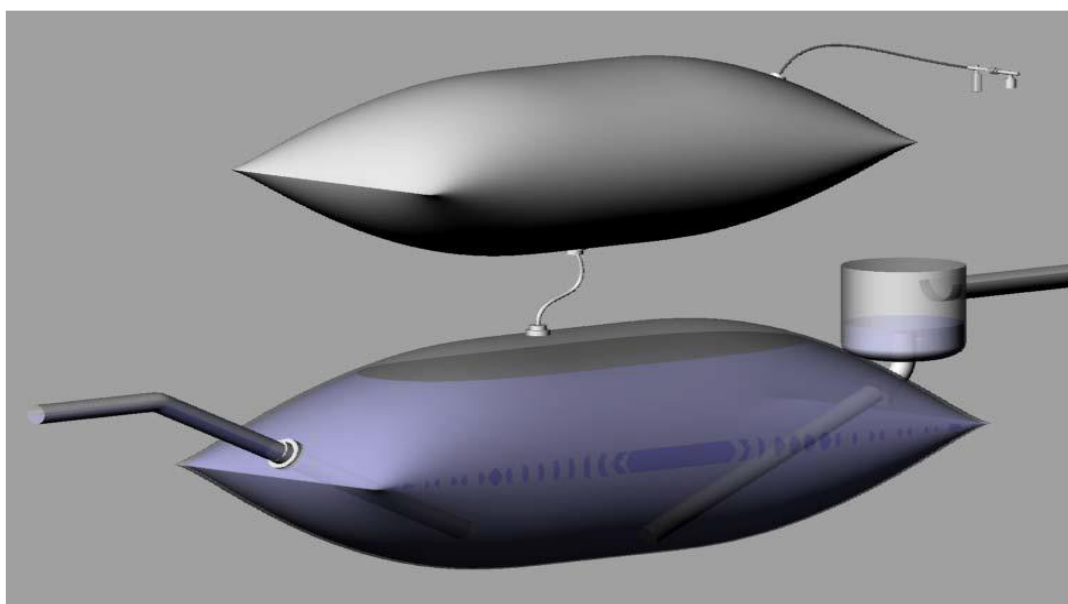
Dos 110 projetos do México (5.037.242 toneladas de redução de emissões (ER), conforme relatado pela UNFCCC, 90% consiste em projetos de captura de metano por digestão anaeróbica (UNFCCC, 2008). A população rural é em grande parte agrária, e compreende 24% do total de 120 milhões de pessoas no país, mas a Agricultura representa apenas 4% do PIB total do México (Corbacho e Shwartz, 2002; WHO, 2008).

Com o passar dos anos, Alexander Bennett Eaton continuou os estudos dos biodigestores e melhorou o antigo projeto de biodigestor. O sistema de biodigestores melhorado é fabricado a partir de polipropileno de alta densidade (HDPP) e ainda vem com uma folha de geo-texteis que é instalado abaixo do biodigestor para proteger o sistema de objetos pontiagudos. Esta mudança ajudou no aumento da durabilidade e tempo de resistência do biodigestor, permitindo que o sistema melhorado possa suportar o peso dos dejetos no interior, além disso por ser um material mais fácil de trabalhar.

As observações iniciais feitas pelo autor indicaram que o biodigestor melhorado seja mais confiável e que apresenta benefícios, como a melhoria das condições sanitárias e de manejo de dejetos, odores e moscas, melhores propriedades fertilizantes do efluente, as emissões de GEE reduzidos, geração de energia renovável, e redução das despesas das famílias.

O autor menciona que ainda há muitas melhorias podem ser feitas para continuar a progressão da tecnologia do biodigestor. Estes incluem a incorporação de sistemas de cobertura e proteção, que também pode potencialmente melhorar o ganho de calor solar do sistema, a incorporação de equipamentos para melhor utilizar o biogás, e a produção de sistemas de pressurização para fazer biogás uma fonte de energia mais versátil.

Tabela 8 - Modelo tubular plástico modelado pelo IRRI



Fonte: IRRI

O IRRI tem vindo trabalhar com outros grupos, tendo organizado a primeira conferência de biodigestores de pequena escala latino-americana no Peru em 2009, onde participaram 9 países da América Latina que trabalham em sistemas de biodigestores.

Como já é conhecido, Cabo Verde situa-se na zona tropical do Atlântico Norte e faz parte da extensa zona do Sahel, possuindo clima quente, árido e semiárido. As temperaturas variam ao longo do ano, com temperaturas máximas entre 25°C a 30°C e com temperaturas mínimas entre 19°C e 25°C. Sofre de secas periódicas, com chuvas irregulares, tendo a precipitação média anual de quase 300mm nas zonas de baixa altitude e de 700mm nas zonas de grande altitude.

A aridez encontrada tanto em Cabo Verde como no México, faz com que o aproveitamento agrícola seja muito menor. Cabo Verde sofre com a escassez de recursos naturais, inclusive água, agravada pelas secas prolongadas e pelo solo pobre. Apesar de quase 70% da população de Cabo Verde viver na zona rural, a agricultura e a pecuária são pouco desenvolvidas e tem pequena participação no PIB. O sector Agro-pecuário de Cabo verde é basicamente baseado numa cultura de subsistência, onde os produtos produzidos são para o consumo próprio. Cerca de 73% dos alimentos tem de ser importados.

O México é considerado uma nação em desenvolvimento apesar abrigar centros urbanos modernos. Um em cada quatro lares usa lenha para toda ou parte da sua energia para cozinhar. As necessidades de energia restantes ao longo do México são atendidas em grande parte com o GPL e eletricidade, o mesmo verificado em Cabo Verde (Maser, 2005)

Como o México, Cabo Verde também assinou e ratificou o Protocolo de Quioto, na óptica da proteção da biodiversidade. O acordo foi assinado em 2005, permitindo que seja elegível para os projetos financiados de MDL.

CAPÍTULO IV

4. Modelação do biodigestor

4.1 Caso de estudo

Este projeto além dos objetivos principais, visa servir como demonstração para as comunidades locais e também para as demais unidades de conservação como um projeto viável, de baixo custo de instalação, com produção de gás e fertilizante, e benéfico para o meio ambiente. O projeto aqui apresentado é de um biodigestor de baixo custo, de fácil construção, pois a maioria dos materiais para sua construção pode ser obtida localmente, o que é fundamental para consciencialização das comunidades do país.

4.2 Localização do Biodigestor

De acordo com Herrero (2008), o lugar escolhido não deve estar sujeito a inundações e não deve acumular água em dias de chuva, pois as paredes perderiam estabilidade e provavelmente ocorreria diminuição da temperatura do biodigestor.

Tendo Cabo Verde como um local quente e seco durante quase todo ano, faz com que haja condições necessárias a instalação do biodigestor.

Figura 9 - Localização do biodigestor



Fonte: Elaboração Própria

O caso de estudo foi realizado na comunidade do Club Hípico do Mindelo, Tendo em conta alguns parâmetros devem ser considerados na localização de um biodigestor:

- Condições locais do solo;
- Facilidades na obtenção, preparo e armazenamento da biomassa;
- Facilidade na remoção e utilização do biofertilizante;
- Distância de utilização do biogás;
- A facilidade de acesso é importante na escolha do local de implantação do biodigestor, porém o equipamento deve ser protegido de animais e as crianças devem ser educadas para conservá-lo, evitando danos;

- Deve evitar-se instalar o biodigestor ao pé de árvores, pois as raízes podem perfurar o equipamento;
- Em biodigestores contínuos de modelo canadiano, o biogás terá pouca pressão e poderá ser conduzido, no máximo, a 50 metros (10m para maior segurança);
- Para a construção do biodigestor em segurança recomenda-se a utilização de equipamentos de proteção individual e ter o acompanhamento devido de um engenheiro civil;
- Próximo à criação, onde serão utilizados os dejetos para a produção de biogás e biofertilizantes, mas não ao lado da criação;
- Local exposto ao sol.

4.3 Matéria-prima Escolhido

Os dejetos dos animais foram escolhidos como a biomassa para o estudo do projeto. Utilizando os dejetos dos equinos do Club Hípico do Mindelo, estes que são depositados em locais sem as mínimas condições contribuindo a criação e proliferação de moscas e doenças, para além da degradação do solo. A biomassa de origem animal não chama muita atenção comparativamente às várias fontes de origem vegetal. O motivo pela diferença de interesse se deve a alguns fatores que torna a biomassa animal menos atrativa, tendo como exemplos a dificuldade no armazenamento desses componentes, facilidade na obtenção de uma quantidade considerável de biomassa para que o investimento necessário na infra-estrutura de geração de energia se torne viável economicamente.

Tabela 9 - Quantidade média de produção de dejetos e equivalente de biogás/m³

Animais	Média produção de	Biogás m³

	dejectos (Kg/dia)	
Bovino	10	0,40
Suíno	2,25	0,35
Aviário	0,18	0,43
Equinos	10	0,40

Fonte: Sganzerla, (1983) - Adaptado.

Figura 10 - Local de deposito dos dejetos



Fonte: Elaboração Própria

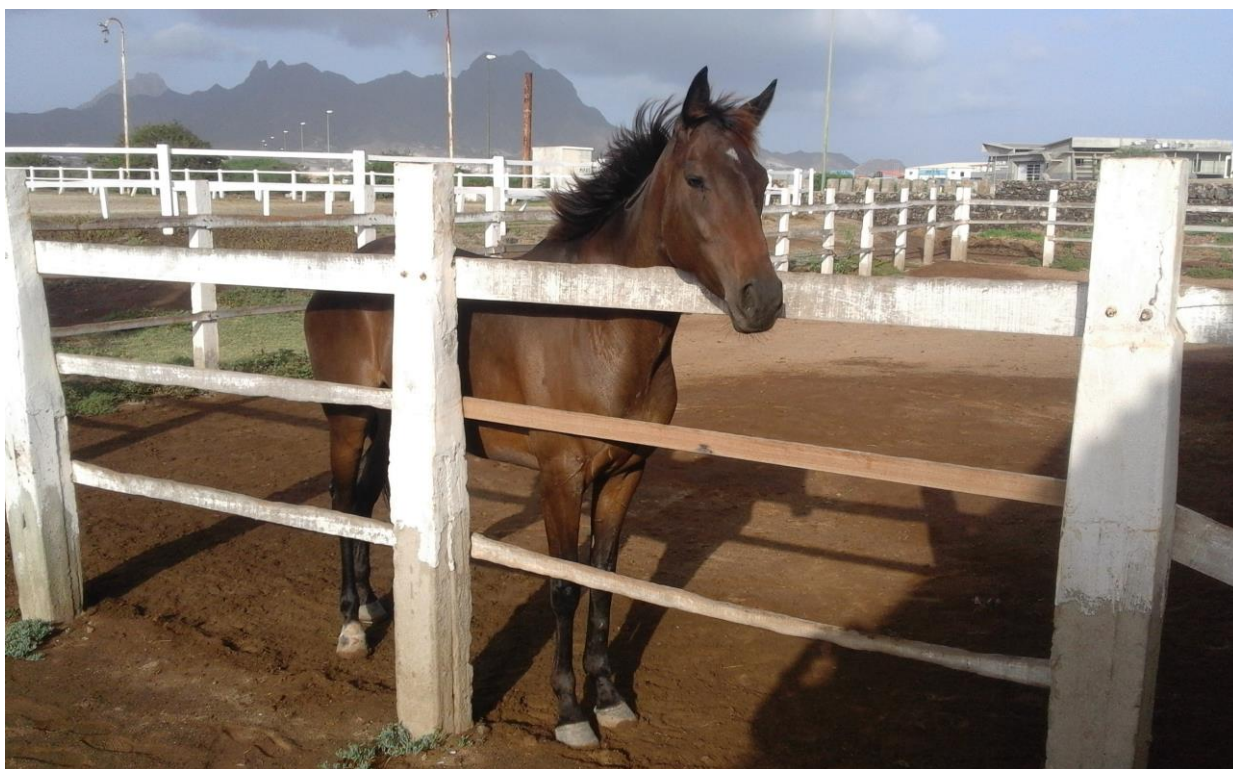
A obtenção de biogás acontecerá através da construção de uma estrutura onde realizará a biodigestão anaeróbica. Esta estrutura de pequeno e médio porte chamado de biodigestor, não exige um investimento muito alto para sua construção, ou seja, podem ser uma opção viável

economicamente a longo prazo. Além da energia obtida (térmica ou elétrica), os resíduos do processo de biodigestão anaeróbica também podem ser empregados como fertilizantes.

Sendo o gás produzido no biodigestor, este deve ser aproveitado localmente, em aplicações domésticas, para aquecimento e iluminação.

A produção de biogás depende do tipo de substrato, sendo que o esterco animal conta como grande população de bactérias nos dejetos, favorecendo a fermentação. As espécies animais diferem quanto à estimativa da produção diária de biogás, em relação à massa de esterco. Nos biodigestores que utilizam dejetos animais como matéria-prima, não apresenta nenhum problema, pois as fezes dos animais já contêm bactérias metanogénicas.

Figura 11 - Égua Tripolia



Fonte: Elaboração Própria

4.4 Tipo de Biodigestor Escolhido

Foi escolhido o modelo Canadense como referência por Cabo verde apresentar um clima quente, que em condições normais de produção de dejetos, permite uma melhoria na produção do biogás devido as altas temperaturas, mais também por apresentar menor custo e facilidade de implementação em relação aos biodigestores com campânulas metálicas ou de fibra de vidro, segundo Lindemeyer (2008). Um modelo mais propriamente caseiro feito de plástico polietileno tubular de baixo custo.

O modelo canadense é atualmente, o mais utilizado nas propriedades suinícolas brasileiras (HAACK, 2009). O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos resíduos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de produção agropecuária, em especial suína e aves (LUCAS JR., 2006).

Figura 12 - Biodigestor Canadense de grande escala implementado no Brasil



Fonte: www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1338-biodigestao-e-uma-opcao-para-o-lixo-organico-rural.e.urbano.html

De acordo com o mesmo autor, é um modelo de tipo horizontal com largura maior e uma profundidade menor do que o indiano, o que resulta em maior área de exposição solar. É considerado por alguns autores como uma lagoa anaeróbia coberta com baixa taxa. Pode possuir uma caixa de entrada e de saída, canalizando os dejetos em função da vazão que se deseja. Possui ainda, uma câmara de fermentação subterrânea revestida com material impermeabilizante e uma campânula superior para reter os gases produzidos (AVESUY, 2013).

A cúpula deste modelo é de plástico maleável tipo PVC que infla com a produção de biogás. Uma válvula reguladora pode controlar a pressão na qual o gás se encontra na campânula (HENN, 2005). O biodigestor deve prever ainda, uma drenagem de lodo (PERDOMO; OLIVEIRA; KUNZ, 2003).

4.4.1 Materiais necessários a construção do biodigestor

- Rolo tubular de polietileno
- 50-60 Metros de câmara de pneu
- 2 Tubos de PVC de 6 polegadas e de 1 metro de comprimento
- Flanges

As ferramentas necessárias:

- Serra
- Chave inglesa
- Fita veda-rosca
- Tesoura

4.4.2 Os materiais necessários para realizar a condução de biogás são:

- 25 Metros de tubo de PVC de meia polegada
- 4 Joelhos de PVC de ½ polegada
- 4 Luvas de PVC ½ polegadas
- 4 “T”s de PVC de ½ polegada
- 4 Válvulas de esfera de plástico de ½ polegada
- Reservatório

As ferramentas necessárias para esta parte são:

- Serra
- Chave inglesa
- Fita veda-rosca
- Seladora manual

CAPÍTULO V

5. Dimensionamento do Biodigestor

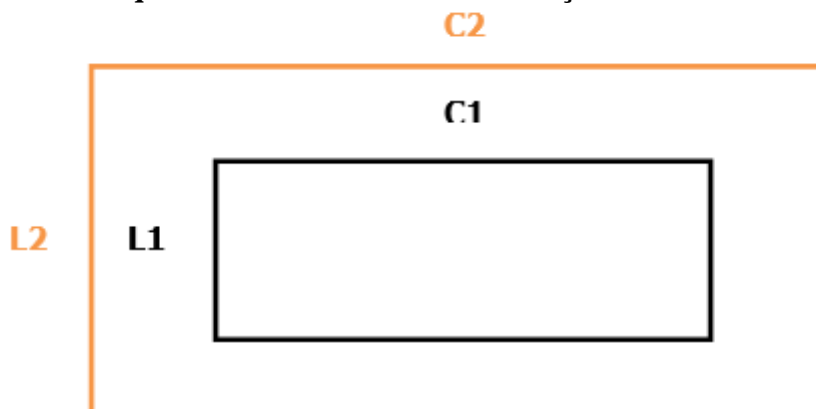
Para elaborar o dimensionamento do biodigestor do estudo de caso, foi feito a pesagem dos dejetos produzidos pelos cavalos de modo determinar as dimensões do biodigestor, bem como a quantidade de biogás esperada. Entretanto é preciso conhecer as dimensões da trincheira que vai acomodar o plástico tubular, sendo ela dm forma de “V” com o fundo reto, impedindo desse modo o colapso das paredes.

Tabela 10 - Volume dos biodigestores e suas dimensões.

Volume (m ³)	Profundidade (m)	Comprimento Maior (m) C2	Largura Maior (m) L2	Comprimento Menor (m) C1	Largura Menor (m) L1
3	1	3,5	1,2	3	0,7
7	1	6	2	4,8	0,8
15	1,4	7	2,5	5,5	1
20	1,5	8	3	6	1
30	1,5	10	3,5	8	1,5

Fonte: Oliver, 2008 (Adaptado)

Figura 13 - Esquema das dimensões da escavação do buraco



Fonte: Elaboração própria

Para determinar o volume do biodigestor, tem de se calcular o produto entre o volume de carga diária (VC) e o tempo de retenção hidráulica (TRH)

$$VC \times TRH = VB$$

5.1 Volume de Carga

Antes de determinar o volume do biodigestor, deve-se determinar o volume de carga diária calculando a média de massa de dejetos produzidos e somar a quantidade de água.

Sabendo que no local em estudo existem 15 equinos e que cada equino produz 15kg/dia de dejetos, iremos determinar o volume do biodigestor e consequentemente calcular o potencial de produção de biogás.

Tendo em conta que por dia um equino produz 15kg de dejetos, então multiplicando por 15 equinos presentes no local, no total a produção de dejetos por dia é de 225kg. Com a junção da água, e a relação entre dejetos e água ser de 1:1, encontramos o volume de carga diária nos 450m³.

VC = Quantidade de Total de Dejetos + Quantidade de Agua

Quantidade Total de Dejetos = Quantidade de dejetos/dia de cada equino x N° de equinos

Quantidade Total de Dejetos = 15kg de dejetos/dia x 15 equinos

Quantidade Total de Dejetos = 225 kg/dia.

Quantidade Total de Dejetos : Quantidade de Agua = 1:1

Quantidade de Agua = 1 x Quantidade de Dejetos

Quantidade de Agua = 1 x 225 kg/dia

Quantidade de Agua = 225 kg/dia.

VC= 225 kg + 225 kg

VC= 450 kg.

Tabela 11- Quantidade de dejetos produzidos no Club Hípico do Mindelo.

Animal	Dejectos por animal	Quantidade de animais	Total de dejectos (kg) /dia	Relação Dejetos : agua	Volume de água (m ³) ⁵	Volume da carga (m ³)
Equinos	15	15	225	1:1	225	450

Fonte: Dados recolhidos

5.2 Volume do Biodigestor

Após o cálculo do volume da carga diária, multiplicar esse valor pelo tempo de retenção, considerando que o TRH é de 35 dias, encontramos assim o valor do volume da carga $15,750 \text{ m}^3$ ajudando na determinação do dimensionamento do biodigestor.

$$\mathbf{VB = VC \times TRH}$$

$$\mathbf{VB = 450 \times 35 \text{ dias}}$$

$$\mathbf{VB = 15,175 \text{ m}^3}.$$

A escavação é realizada conforme os cálculos do dimensionamento, com a realização dos cálculos decidiu-se por um biodigestor com volume de 20 m^3 .

5.3 Desenho técnico e dimensões dos constituintes do Biodigestor

Utilizando a ferramenta de desenhos, SolidWorks, procedeu-se ao desenho dos constituintes do biodigestor, bem como as dimensões dos mesmos e suas vistas.

Figura 14 - Desenho técnico da caixa de entrada e suas dimensões

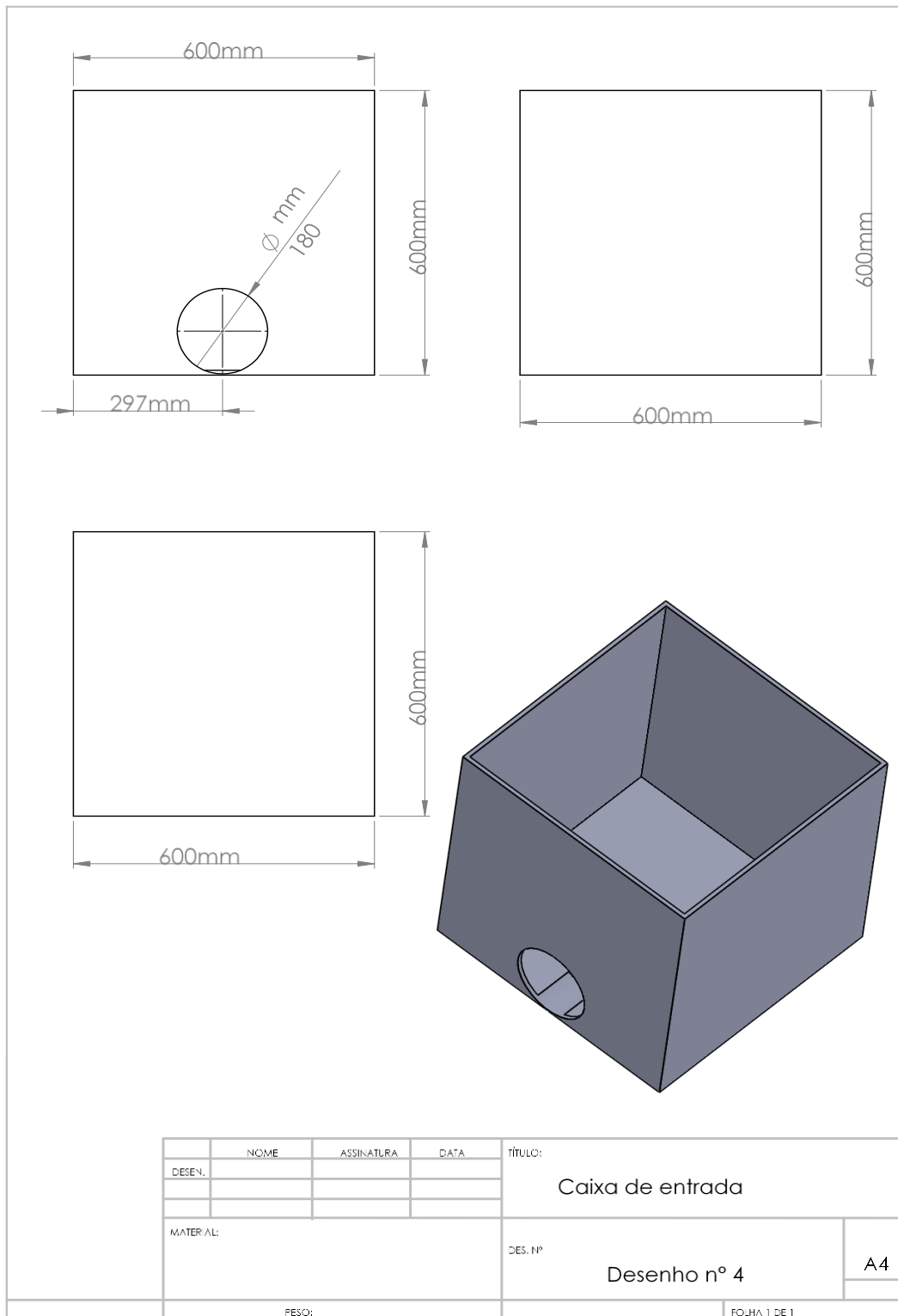


Figura 15 - Desenho técnico da Caixa de saída e suas dimensões.

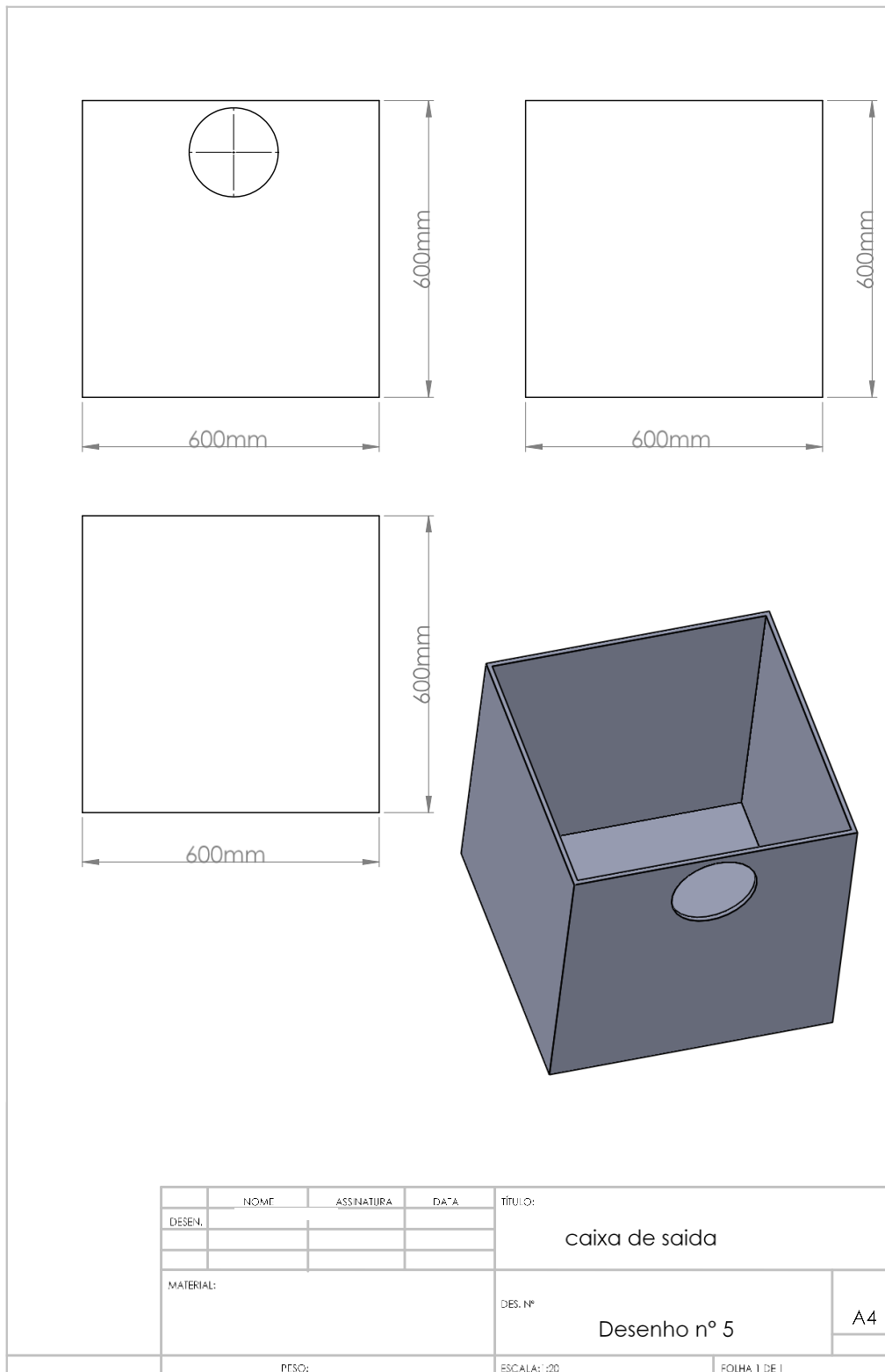
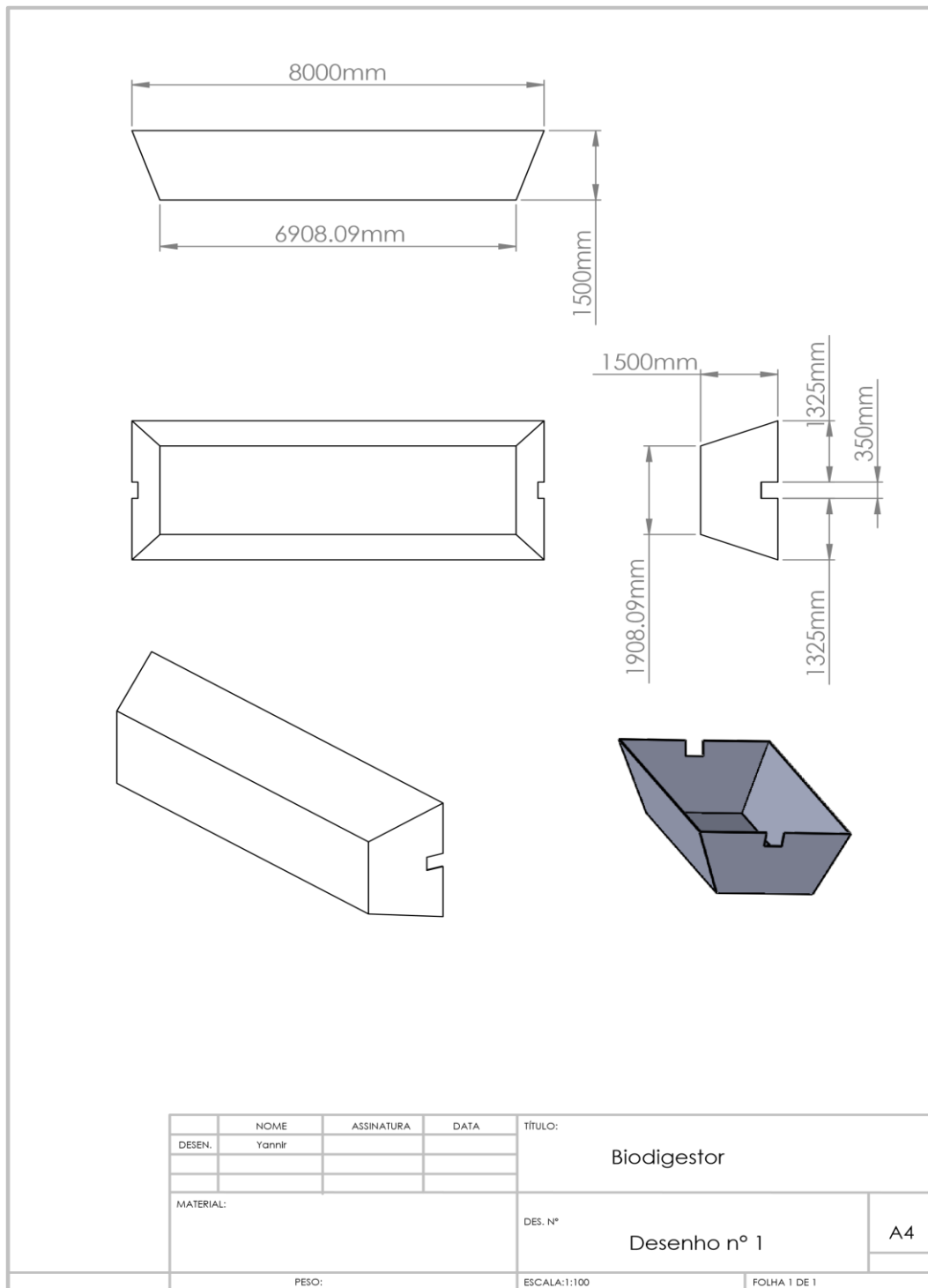


Figura 16 - Desenho técnico do tanque principal de biogás.



CAPÍTULO VI

6. Discussão dos resultados

6.1 Cálculo da previsão de produção de biogás

Considerando que o total de dejetos produzido é de 225kg por dia e que segundo Sganzerla (1983), 10kg de dejetos de equinos equivale a 0,40 m³ de biogás. Aplicando a regra de três simples obtemos que 225kg/dia equivale a 9m³ biogás e que por mês vale 270m³.

Segundo Deganutti 1m³ de biogás equivale a 0,45 kg de GPL, aplicando a regra de três simples obtemos que 270m³ de biogás equivale a 121,5 kg de GPL. Entretanto sabendo que uma botija de GPL contém 13kg, fazendo a regra de três simples, concluímos que 121,5 kg equivale a 9 botijas de biogás.

Em relação a possível energia elétrica produzida através do biogás, ainda segundo Deganutti 1m³ equivale a 1,43 kWh, aplicando a regra de três simples, calculamos que 270m³ de biogás equivale a 386,1 Kwh.

Tabela 12 - Cálculos da produção de biogás

Item	Cálculos	Valor	Unidade
Total de dejetos/dia	225	225	Kg
Total biogás/dia	225 x 0,040	9	m ³ /dia
Total biogás/mês	9 x 30 dias	270	m ³ / mês
Equivalência em botija de 13kg de GLP	270 x 0,45= 121,5 kg GPL 121,5/ 13 = 9	9	Botijas
Equivalência	270 x 1,43 kWh	386,1	kWh/mês

em energia Elétrica (kWh)			
---------------------------------	--	--	--

Fonte: Elaboração Própria

Tendo em conta o projeto, verificou-se resultados positivos que satisfaz a os objetivos gerais e específicos, demonstrando que os dejetos desprezíveis causadores de degradação ambiental, afinal, com ferramentas certas são possíveis valoriza-los energeticamente.

Com os dados recolhidos na comunidade em estudo conseguiu-se determinar a quantidade de dejetos produzidos e consequentemente em função do tempo de detenção hidráulica calcular o dimensionamento do biodigestor escolhido que serviu de ferramenta para a produção do biogás estimado e biofertilizante.

O planeamento estratégico envolvendo a análise do ambiente interno e externo interligado com a realidade do projeto para o alcance dos objetivos previamente definidos, baseado nas forças do projeto, tratando as fraquezas, aproveitando oportunidades e combatendo possíveis ameaças. As análises realizadas através da análise SWOT, que permite um diagnóstico abrangente sobre pontos relevantes do projeto.

Tabela 13 - Analise SWOT do projeto

S – Forças - Redução dos resíduos sólidos; - Reciclagem.	W – Fraquezas - Possível falta de informações por parte da comunidade rural
O – Oportunidades - Melhoria da saúde pública; - Produção da própria energia limpa e	T – Ameaças - Redução dos animais (redução dos dejetos); - Falta de capacidade de manejar o sistema

sustentável.	por parte da comunidade acolhedora do projeto.
--------------	------------------------------------------------

Fonte: Elaboração Própria

Organizar palestras de modo a sensibilizar as comunidades rurais e de criação de animais sobre a importância e as vantagens do projeto.

Estabelecer um projeto-piloto, avaliando os resultados ao longo de um certo período de tempo.

Organizar formações para as comunidades rurais e criadores de animais com objetivo de adquirir capacidades para o manejo do sistema como forma de combater uma das ameaças ao projeto.

Com a redução dos dejetos dos animais como consequência da redução dos animais, devido algum fator qualquer, pode-se prosseguir por substituir pelos restos de alimentos dos animais, de forma a garantir a quantidade necessária para o depósito e não afetando o funcionamento do sistema.

Conclusão

A produção do biogás e do biofertilizante através da valorização dos dejetos utilizando o biodigestor, agrega valor à propriedade rural, de modo a se tratar de uma fonte alternativa e renovável de energia com diversos tipos de utilizações e de um material orgânico de grande poder de fertilização, respectivamente, como pode ser visto no desenvolvimento do trabalho.

Através do estudo feito com os equinos a nível teórico, o biodigestor atende as exigências de tratamento dos dejetos, reduzindo o potencial de impacto ambiental, como a poluição do solo, águas e ar da região.

No estudo de caso realizado utilizando o biodigestor caseiro canadense, evidenciaram-se exemplos da aplicação do biogás e do biofertilizante, assim como, o desenvolvimento de uma análise de viabilidade económica, onde foi possível demonstrar que se usado adequadamente os produtos do biodigestor, muito provavelmente proporcionará grande benefício financeiro com retorno certo do investimento inicial.

Tendo em conta que uma botija de gás de 13kg assegura 80 horas de combustão, e sabendo que 270m³ do biogás esperado equivale a 9 botijas de gás, determina-se então 748 horas de combustão do biogás. O biodigestor além de uma excelente ferramenta de tratamento de resíduos é de grande benefício económico devido à grande quantidade de biogás produzido no local, a qual pode ser utilizado para o cozimento de alimentos investindo em um restaurante.

Verificou-se que o dejetos restante pode servir moeda de troca para a obtenção de água tratada propício ao cultivo de alimentos para os animais. O biofertilizantes que podem ser usados em diversas culturas. Basicamente de um material que seria descartado é possível se obter energia eléctrica, térmica e um fertilizante natural que pode também ter um valor ambiental e comercial.

Este projeto também visa para servir de base para elaboração de outros projetos bem como para a produção de energia eléctrica, através do aproveitamento dos dejetos dos animais de forma a tornar o local mais sustentável a nível energético e económico.

Com a crescente demanda por fontes alternativas de energia, devido à necessidade de um desenvolvimento mais sustentável da sociedade, que agrida menos o meio ambiente consumindo menos combustíveis fósseis, o biogás vem se tornando uma alternativa cada vez mais viável e limpa de energia.

Verificou-se que os resultados são satisfatórios, contribuindo para um menor impacto ambiental, permitindo uma melhoria do conforto térmico. A redução do consumo de energia e água favorecendo a economia da comunidade. Sem contar com o paisagismo produtivo, devido ao saneamento eficiente do local

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexander Bennett Eaton, **The role of small –Scale biodigesters in the energy, health, and climate change baseline in Mexico**, Humboldt State, 2009

Alves, S. M; Melo, C. F. M; Wisniewski, A. **Biogas, uma alternativa de energia no meio rural**. Belem, EMBRAPA-CPATU, 1980.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Eletrica. Disponível em: www.aneel.gov.br . Acesso em: Setembro de 2017.

AVESUY. Comunicação pessoal, 2013.

Belli filho, P. **Stockage et odeurs des dejections animales cas du lisierdeporc**. Thèse. Université de Rennes, U.F.R. École Nationale Supérieure de Chimie. Rennes, France. 1995.

Beux, S. **Avaliação do tratamento de efluentes de abatedouroem biodigestores anaeróbios de duas fases**. 2005. Dissertação de Mestrado em ciências e tecnologia de alimentos – UEPG/PR, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Botero R, Preston TR. 1987. **Biodigestores de Bajo Costo para la Produccion de Combustible y Fertilizante a Partir de Excretas: Manual para su Instalacion, Operacion, y Utilizacion**. Costa Rica: EARTH University.

Castanho, D. S; Arruda, H. J. **Biodigestores**. In: Semana de Tecnologia de Alimentos. Ponta Grossa: UTFPR, 2008.

Chernicharo, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, 379 p., 2007.

Corbacho A, Shwartz G. 2002. **Income Distribution and Social Expenditure Policies in Mexico: What Can we Learn from the Data? Lateinamerika Analysen 1**. Hamburg: IIK.

Cortez et al., 2008 CORTEZ, Luiz Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva, GÓMES, Eduardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

Craveiro, A. M. **Considerações sobre projectos de plantas de biodigestao – Digestao anaerobiae aspectos teoricos e práticos. I Simposio Latino-Americano sobre Produção de Biogás a partir de Resíduos Orgânicos**, São Paulo, 1982.

Dal Mago, A. **Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos em Braço do Norte e em Concórdia**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

Deganutti, R; Palhaci, M. C. J. P; Rossi. M; Tavares, R; Santos. C. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chine e batelado**. In: Encontro de Energia do Meio Rural. Anais. Bauru, 2002.

Ferraz, J. M. G e Marriel, I. E. **Biogás; fonte alternativa de energia**. Sete lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1980 (EMBRAPA – CNPMS. Circular Técnica, 3).

Filho, J. A. C. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense**. Circular técnica nº.9. Corumbá, EMBRAPA, 1981.

Giovany de Freitas, **“Biomassa, Uma Fonte de Energia”**, Projeto de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Gryschek, J. M; Belo, F. R. **Produção e uso do gás metano na agricultura e agro-indústria**. Piracicaba, 1983.

Haack, S. C. **Análise técnica e económica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano**. Dissertação de Mestrado em Economia. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

Henn, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condições de partida**. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

Herrero JM. 2008. **Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación**. GTZ-Energía. Bolivia.

<http://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-treinamento-em-biodigestao.html>- 22/10/17

<http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php/2015-11-05-00-50-31/o-que-sao>-22/10/17.

IEA – International Energy Agency. Disponível em: www.iea.org .Acesso em: Setembro de 2017.

IRRI - International Renewable Resources Institute. 2009. Mexico Biogas Program. (Website) Available from: www.irrimexico.org.

Karina Lais Baungratz, Jamilson Bispo de Oliveira, Naudiele Slongo, Elisandro Pires Frigo, Emanuelle Zanon, **Produção de biogás a partir de biomassa residual** UFPR – Universidade Federal do Paraná – Campus Palotina.

Lambole, P. **Utilisation pratiques du methane**. Paris, Le Pont, 1978

Lana F. C, Cleber B. L, Carlos E. C. N, Jair A. C. S, Reginaldo F. S. **Avaliação dos Custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás**. Revista engenharia agricola.

Lansing S. 2008. **Performance and optimization of low-cost digesters for energy production and treatment of livestock wastewater**. [dissertation] Ohio State University.

Lindemeyer, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso de biogás como fonte de energia elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

Lucas Jr., J. **Geração e Utilização de Biogás em Unidades de Produção de Suínos**. Revista de Administração em empresas (RAE-eletrônica).

Macedo, Flavia. (2013), **Dimensionamento de biodigestores para o tratamento de dejetos da produção suína**, trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**.

Manual de Treinamento em biodigestão, 2008. Disponível em www.wmasjr.com.br/2018/04/22/tipos-biodigestor/ Acesso: Julho, 2018.

Masera O. 2005. **From Cookstoves to Cooking Systems: The Integrated Program on Sustainable Household Energy Use in Mexico**. Energy for Sustainable Development 9

Mazzucchi, O. A. Biodigestor rural. São Paulo, CESP, 1980.

Metcalf e Eddy. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2003

MME:EPE, 2007 Empresa de Pesquisas Energéticas. Disponível em www.epe.gov.br BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME. Disponível em: www.mme.gov.br

Nogueira, L. A. H. **Biodigestão – A alternativa Energética**. Nobel: São Paulo, 1986. Flavio Delgado, Regente Agrícola, Pecuária: Ontem, Hoje e Amanha

Oliveira, Matias. (2012), **Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense**, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria.

Parchen, C. A. **Manual de biogás**. Curitiba, EMATER-Paraná, 1979.

Perdomo, C. C; Oliveira, P. A. V. de; Kunz, A. **Sistemas de tratamento e utilização de dejetos suínos: inventário tecnológico**. EMBRAPA Suínos e Aves. Concordia, 2003.

Pereira. E. R; Demarchi. J. J. A; Budino. F. E. L. **Biodigestores – Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**, 2009.

Pound B, Bordas F, Preston TR. 1981. **Characteristics of production and function of a 15 cubic meter Red-Mud PVC biogas digester**. Tropical Animal Production, Vol. 6

Preston TR, Rodríguez L. 2002. **Low-cost biodigesters as the epicenter of ecological farming systems. Proceedings Biodigester Workshop**, University of Tropical Agriculture Foundation, Cambodia. Available from: <http://www.mekarn.org/procbiod/pres.htm>

Ribeiro, W. X. **Comparacao dos parâmetros técnicos de um motor diesel funcionando com óleo diesel e óleo/biogás.** Universidade Federal do Ceara, Centro de Ciencias Agrarias, Departamento de Engenharia Agricola, Fortaleza, 1993.

Sanchez, E., et al. **Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste.** *Bioresource Technology*, 2005.

Sganzerla, E. **Biodigestor, uma solução.** Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Índices da construção civil. Disponível em: <<http://www1.caixa.gov.br/download/asp/download.asp?subCategId=988&CategId=120&subCateglayout=Relat%F3rios+de+Insumos+Setembro%2F12&Categlayout=SINAPI++Sist.+Nac.+Pesq.+Custos+e+Indices+Const.+Civil>>.

Souza, J. S. I; Peixoto, A. M; Toledo, F. F. **Enciclopedia agricola brasileira**, v.1, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”: Edusp, 1995.

Taller de Intercambio de Experiências de Biodigestores en América Latina-- Resumen de Conclusiones, 2009.

Vários autores, **Energias Renováveis**, Atelier Nunes e Pã.

WHOSIS - World Health Organization Statistical Information System. 2008. Available from: <http://www.who.int/en/>

www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1338-biodigestao-e-uma-opcao-para-o-lixo-organico-rural.e.urbano.html. Acesso: 10 Dezembro de 2018.

ANEXO

Apresentam-se aqui os passos e recomendações para construção e instalação do biodigestor, das tubulações de entrada e de saída, do reservatório de biogás e da cozinha. Trata-se basicamente de uma tradução da publicação “Biodigestores familiares: guía de diseño e manual de instalación” (HERRERO, 2008). Onde houve necessidade de tratar do projeto em questão, assinalei o texto em *itálico*.

I. A construção do biodigestor

Materiais e ferramentas prontas inicia-se a construção do digestor. É importante fazer esta parte em uma superfície livre de pedras ou objetos que possam danificar o plástico.

Isso pode ser feito em uma área com grama densa, antes de verificar rochas pendentes ou no chão de uma sala grande, depois de ter varrido, ou colocando uma lona para forrar o chão, que pode ser levado a qualquer lugar.

O primeiro passo é cortar duas peças de plástico do tamanho desejado. Deve-se lembrar neste ponto que se deve fazer o corte com um metro de plástico a mais pois esse metro servirá para amarrar 50 cm à tubulação de entrada e 50 cm para a tubulação de saída.

Uma das mangueiras de plástico deve ser colocada completamente no chão, e a outra é segurada cuidadosamente uma das suas extremidades. Uma pessoa segura a extremidade dessa segunda mangueira de plástico, e sem soltá-la, atravessa o interior da primeira mangueira, de modo que por este meio se forme uma mangueira de plástico único com dupla camada. Deve-se evitar rugas interiores e tentar igualar as duas camadas.

Para se fazer a dupla capa de plástico é necessário que alguém atravessasse toda a mangueira de plástico arrastando a outra capa no seu interior.

I. I Saída de biogás

Assim que se tenha a mangueira de plástico com dupla camada deve-se fazer a saída de biogás utilizando uma anilha (ou flange), que consiste de um macho e uma rosca de ½ polegada e dois discos rígidos de plástico (lixando suas arestas), que são feitas de um orifício central do tamanho

do macho. É conveniente que o tamanho desses discos rígidos não seja inferior a 10 cm de diâmetro.

Dois outros discos, agora macios (com câmara de pneus) de diâmetro maior que o dos discos rígidos, nos quais também se faz um orifício central do mesmo tamanho. Desta forma vai-se fazer um sanduíche sobre o furo no plástico de dupla camada como se segue: macho - disco rígido - disco flexível - dupla camada de plástico - disco flexível - disco rígido - rosca.

Para a colocação dos flanges deve-se fazer um corte na parte central da mangueira com dupla camada. Com a colocação dos discos e apertando-se, a flange será uma saída selada do biodigestor que permitirá levar o biogás até a cozinha.

Tendo os flanges, deve-se fazer um corte pequeno na mangueira de dupla camada, que deve ser feito mais ou menos na metade do digestor, mas mais perto da entrada. *Neste, caso como o biodigestor terá 20 metros, a mangueira de dupla camada terá 21 metros. A partir da entrada, os primeiros 50 centímetros serão para amarração e deste ponto será de menos de 10 metros para a metade da mangueira. Portanto, o ponto do corte pode ser de 9 m a partir da entrada. Isso porque como o biogás é gerado capa mais perto da entrada, se houver qualquer declive na trincheira o biogás pode sair.*

Faz-se o corte nos dois plásticos bem sobrepostos, fazendo uma pequena “tenda” com a ponta do dedo. Um corte pequeno é melhor pois se não der para colocar o flange, cuidadosamente se abre o corte gradualmente, até que o flange possa passar por ele.

Uma vez feito isso, se coloca o disco flexível e se aperta a rosca firmemente. Assim, a dupla camada ficará presa entre dois discos de borracha macia, espremidos pelo segmento entre o macho e a fêmea.

Para acabar a saída de biogás, corta-se um pedaço de tubo de PVC de meia polegada de aproximadamente um metro e meio, se rosqueiam ambas as extremidades e passa-se fita vedar-rosca. Na outra extremidade do tubo de meia polegada é colocada uma válvula de esfera e se fecha

I.II Tubos de entrada e saída

Feita a saída de biogás, deve-se fechar as extremidades da mangueira de plástico amarrando os tubos de entrada e de saída, que são iguais.

O primeiro passo a se dar é proteger a boca do tubo que vai ficar no interior do digestor para que durante a amarração e a manipulação do tubo a borda deste não danifique o plástico. Para isso, basta amarrar tiras de câmara de pneu sobre a boca do tubo, cobrindo alguns milímetros a partir da sua borda.

Os tubos de entrada e saída são de PVC de 6 polegadas de diâmetro. Deve-se proteger as bocas dos tubos de entrada e de saída, nas extremidades que vão ficar dentro do biodigestor, para que os tubos não danifiquem o plástico

Tendo protegido uma das extremidades de cada tubo de 6 polegadas com 1 m de comprimento, colocam-se esses tubos nas extremidades do biodigestor, inserindo cerca de 80 cm, e, portanto, deixando para fora 20 cm. Acomoda-se então o plástico para poder amarrá-lo aos tubos. Para isso, pega-se uma lateral do plástico e vão-se fazendo pregas até que o plástico fique todo em volta do tubo. Faz-se o mesmo procedimento do outro lado. É conveniente que não se formem enrugamentos e que as pregas sejam longas, abrindo-se ao longo da mangueira de plástico.

Feito isso em ambos os tubos, mede-se 50 cm a partir da borda do plástico e a partir da daí começa-se a amarração com a liga de câmara de pneu. Significa que dentro do digestor ficarão 30 cm de tubo sem amarrar. Assim, ficarão 20 cm do tubo fora do digestor, 50 cm amarrados e 30 centímetros no interior sem amarrar.

Para amarrar a liga, cada volta tem que passar em parte em cima da volta anterior. Assim, se ascende o tubo gradualmente. Essas voltas devem ser fortes pois se a liga arrebentar não é necessário começar de novo, podendo-se recommençar sobre a parte já amarrada. É muito importante manter a liga tensa e sobreposta na volta anterior. Depois de amarrados os 50 centímetros de plástico, continua-se amarrando por mais 10 cm. Faz-se esse procedimento tanto para a entrada como para a saída do digestor.

Para amarrar os tubos de entrada e de saída do biodigestor, devem-se centralizá-los, formar pregas no plástico em volta do tubo e amarrar com liga de câmara de pneu o Biodigestor construído e pronto para ser instalado

Tendo construído do digestor, o que é, basicamente, colocar uma camada de plástico dentro da outra, fazer a saída do biogás, proteger a entrada e a saída dos tubos e amarrar as extremidades da mangueira de dupla camada aos tubos, o digestor está pronto para ser instalado.

O processo todo leva cerca de duas horas, de acordo com a experiência da equipe responsável pela instalação.

II Instalação do biodigestor

A instalação do digestor é feita pelo menos com duas pessoas, mas se há mais, melhor. O mais importante é proteger o digestor de atrito com o solo ou com qualquer outro objeto durante o transporte. Se for feito qualquer buraco no plástico ele já não servirá mais.

II.I Colocação na calha

O biodigestor construído deve ser colocado na calha preparada, com as suas paredes e sua base forradas.

Para colocar o biodigestor na calha, recomenda-se que várias pessoas segurem o biodigestor formando uma fila. Cada pessoa tem que se preocupar em não esfregar qualquer coisa contra o plástico, por isso é melhor dobrar as bordas laterais para o centro do biodigestor, e colocá-lo na calha desta forma.

Uma vez colocado na vala deve verificar que o fundo não tem rugas, puxando ambas as extremidades do digestor, e se necessário deve-se colocar alguém dentro da calha. Se existirem rugas, em seguida elas não poderão ser removidas pois o peso do lodo dentro do biodigestor será muito grande.

Para se colocar o biodigestor na calha deve-se ter muito cuidado para que não haja atrito do plástico com as paredes da calha ou com pedras para que não se danifique o plástico. Esta é uma parte crítica em que se deve tomar extremo cuidado.

II.II Níveis de saída e lodo

Assentado o biodigestor deve-se calcular os níveis dos tubos de entrada e de saída.

A profundidade de calha corresponde ao nível máximo de lodo dentro do biodigestor. Para que isto seja o nível da saída, é necessário que a boca externa do tubo esteja a esse nível. Usa-se uma mangueira transparente para se calcular o nível.

É muito importante colocar os tubos de entrada e de saída para que o nível do lodo seja ideal. O nível do lodo da boca de saída deve ser equivalente à profundidade da calha. O tubo de entrada se coloca de tal maneira que a metade da parte amarrada coincida com o nível de saída.

Uma vez que a parte inferior da boca externa do tubo de saída esteja no nível para que o digestor se encha até uma altura igual à profundidade da vala, se ajustará o tubo de entrada. Neste caso o tubo de entrada estará mais alto, e o nível de lodo (que corresponde ao nível de saída) deve estar no meio dos 50 centímetros da amarração do tubo de entrada.

Determinados os níveis, deve-se amarrar os tubos para que fiquem fixos. Quando se carregar o digestor, ele vai puxar os tubos para o interior da vala, e por isso é necessário segurar. Para isso se faz um pequeno furo nos tubos com a ponta de uma faca ou uma tesoura, e se coloca uma estaca a meio metro. Passando o fio através do orifício do tubo se firma a estaca.

Feito isso, é aconselhável cobrir os 50 cm dos tubos de entrada e de saída com um saco velho para o sol não queimar as tiras de câmara de pneu.

Para medir os níveis de saída deve-se usar uma mangueira transparente cheia d'água, que dará o nível.

Determinadas as posições dos tubos de entrada e de saída, faz-se um pequeno orifício e se passa um fio para amarrar e se coloca uma estaca para fixar os tubos.

II.III A primeira carga

Instalado o biodigestor, deve-se realizar a primeira carga de adubo e água. Para esta carga é mais importante colocar uma boa quantidade de estrume fresco (mistura de 1:3 de estrume e água) e encher até que as bocas interiores da entrada e da saída estejam cobertos por lodo. Quando se tapar o interior dos tubos, o ar deixará de ter acesso ao interior do digestor, o que é essencial para a produção de metano.

A primeira carga é importante porque disso depende que a produção de biogás se inicie antes ou depois. Recomenda-se que se acumule esterco fresco por sete dias antes da instalação para que no dia da primeira carga se tenha material suficiente.

Biodigestor já instalado, começando a ser carregado de água e esterco, o que deve ser feito até que se tapem as bocas interiores dos tubos de entrada e saída.

III Condução de biogás

O biodigestor instalado tem uma saída de biogás preparada, com ilhós, tubo de ½ polegada de diâmetro e um metro de tubo terminando numa válvula de esfera.

A partir desse ponto, o gasoduto continua com tubos de PVC de ½ polegada até a cozinha. A tubulação deve ficar alta em postes, ou apoiada a uma certa altura sobre uma parede. Recomenda-se comprimento máximo de 100 metros (para distâncias maiores deve-se usar tubos de maior diâmetro), mas sendo o ideal ter o biodigestor entre 20 e 50 m de distância para a cozinha. *O projeto em questão se adequa bem a essa recomendação.* A condução é direta, usando as luvas e os joelhos quando necessário.

É importante que a tubulação esteja elevada, nunca enterrada, por causa da acumulação de água pode ocorrer. O digestor estará cheio de água misturada com esterco. A água irá evaporar e condensar nas tubulações, o que pode tapá-las e não permitir que o gás alcance a cozinha.

É inevitável que a tubulação de gás tenha pontos baixos, onde a água irá acumular. Nestes “vales”, pode-se colocar um “T” com a terceira saída bloqueada por uma tampa de rosca, de modo que de vez em quando, ao abrir a tampa, possa-se drenar a água parada. Pode-se também instalar a tubulação sempre inclinada, de modo que qualquer água condensada, caia sobre a válvula de segurança, ou outro item que possa drenar essa água.

Nos pontos baixos da tubulação do biogás pode-se colocar um T com a terceira saída bloqueada com uma rosca. Se houver acúmulo de água nesse baixo, é possível abrir a rosca a remover a água.

III.I Válvula de Segurança

A válvula de segurança é colocada perto do digestor, para que se possa analisá-la diariamente. Essa válvula permitirá que, se não for consumido biogás, este tenha um lugar para escapar, e evitar que entre ar do lado de fora para dentro do biodigestor (o que mataria o processo interno de produção de biogás).

A válvula de segurança é feita com uma garrafa pet de refrigerante. Faz-se um buraco na parte superior para ir enchendo a garrafa com água à medida que esta se evapora.

Na saída de biogás, antes da válvula de esfera, que foi colocada para fechar a saída do biogás, coloca-se um T, para que o biogás possa continuar fluindo para a cozinha. Mas à terceira saída do

Une-se um pedaço de tubo e se introduz a garrafa de refrigerante cheio de água. O tubo deve ser imerso na água entre 8 a 13 cm, dependendo da altura acima do nível do mar e a distância da cozinha. Para determinar a pressão adequada é necessário ir realizando testes de combustão de biogás na cozinha.

A válvula de segurança é colocada no início da condução de biogás, perto do biodigestor, para se verificar diariamente se há necessidade de mais água.

Após a válvula de segurança deve ser colocada uma válvula de modo que se possa isolar o conjunto formado pelo digestor e a válvula de segurança do resto da condução para possibilitar possíveis reparos ou modificações.

A válvula de segurança é o primeiro elemento a ser colocado após a saída do biogás. Se o primeiro elemento posicionado é uma válvula de esfera e após esta se coloca a válvula de segurança, existe um risco de que a torneira seja fechada por descuido ou malignidade, e então o biogás produzido no digestor não tenha como sair.

É importante notar que a pressão máxima do biogás será dada pela profundidade com que o tubo está submerso na água.

No interior do tubo que chega à garrafa cheia de água, é introduzido palha-de-aço (tipo "Bombril"), o que tem duas funções: reter parte do ácido sulfídrico presente no biogás, removendo o odor desagradável desse gás, e impedir que uma combustão externa se propague pela tubulação, evitando o perigo de explosões. Deve-se trocar esta palha-de-aço ou de ferro de seis em seis meses, e por isso é colocado junto à válvula de segurança, para que fique acessível para substituição.

III.II Reservatório de biogás

O reservatório será o tanque de armazenamento de biogás e servirá para aumentar a pressão caso haja diminuição na produção. O reservatório deve estar localizado perto da cozinha, tomando cuidado para não estar perto do fogo. Normalmente se prende ao teto. Deve estar em local fechado para protegê-lo do sol, ou pode ficar no exterior, mas protegido de ventos.

O reservatório é feito a partir do mesmo plástico com o qual o digestor foi construído, usando uma única camada. Corta-se um pedaço de três metros de largura, e como o biodigestor, devemos colocar um flange na sua área central, empregando-se a mesma técnica que no biodigestor.

O reservatório é construído com 3 metros de polietileno tubular. Depois de colocar o flange no centro, fecham-se as laterais usando um selador manual de plástico.

Depois de colocados os flanges, serão seladas as laterais da mangueira, para que a única forma de entrada ou saída do biogás seja pelos flanges. Para vedar os lados, utiliza-se um selador manual de plástico. Esses seladores são de 30 e 40 cm de braço, e para vedar em torno da borda da mangueira de plástico faz-se um "ziguezague" na borda, selando em seções, tomando cuidado para que os lados do plástico estejam hermeticamente fechados. Em caso de dúvida, sela-se duplamente para repetir a operação. Devem ser realizados pré-testes para regular a potência desses seladores, assegurando que o plástico fique adequadamente selado.

Tendo cerrado ambos os lados, fazem-se pregas de acordo com nas extremidades do reservatório e se amarra com tiras de câmara de pneu para que a pressão de biogás não abra as seções seladas. Além disso, pode-se colocar uma peça oca nas extremidades e amarrar o plástico sobre ela para depois passar uma corda e pendurar o reservatório no teto. Pode ser usado como peça oca um pedaço de tubo velho.

Amarram-se os lados selados, pregando-os em forma de acordo com contra um objeto oco para que se possa passar uma corda e prender o reservatório ao teto.

Construído o reservatório, deve-se conectá-lo à condução de biogás. Para isso se coloca um "T" na condução. Por uma entrada virá o biogás do digestor, pela outra o mesmo irá para a cozinha e a outra vai ligar ao reservatório. É normal colocar uma válvula esfera a um metro da condução do reservatório para fechá-la e isolar o reservatório em caso de furo ou vazamento.

O reservatório, como mencionado, não só armazena maior quantidade de biogás, mas também permite que se aumente a pressão. Se o consumo de biogás for grande e a chama perde força na cozinha, pode-se amarrar uma corda em torno do reservatório, que se puxada vai comprimir o biogás e aumentar a pressão no interior, de modo que o gás sairá mais fortemente pela cozinha. Esta é uma das razões por que o reservatório tem de ser acessível e perto da cozinha.

IV Cozinha

A tubulação de biogás termina na cozinha, geralmente com dois queimadores. Podem-se usar os fogões que usam botijas de gás para cozinha, bastando remover o difusor de gás, após a válvula e conecta-se a tubulação de PVC de ½ polegada ao fogão.

V Manutenção diária e detalhes finais

Deve ser dada atenção à válvula de segurança para que nunca falte água; caso isso aconteça, entrará ar no digestor e as bactérias vão morrer.

Deve-se atentar à condensação de água nas tubulações de biogás. Caso isso ocorra, a chama sairá em golpes (soa como "po-po-po-po" e a chama vem e vai) e se não for sanada, eventualmente pode não chegar biogás para a cozinha.

Se for possível, recomenda-se fazer uma cerca ao redor do digestor para evitar que animais o danifiquem (o que ocorre muito com galinhas).

Para a carga diária pode fazer uma "caixa de mistura" na entrada do digestor, geralmente de barro ou de adobe forrada com plástico, onde ocorre mais mistura e daí possa cair no digestor.

Da mesma forma, para a saída pode-se fazer uma caixa, de um metro de largura e um metro de profundidade onde o fertilizante é acumulado. Daí pode haver uma comunicação direta com canais de irrigação. A caixa deve ser coberta para o adubo não ficar exposto ao sol e perder suas propriedades.